1 марта

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. **Л. А. Арцимович**, акад. **А. Г. Бетехтин**, акад. **С. А. Векшинский**, акад. **А. Н. Колмогоров** (зам. главного редактора), акад. **А. Л. Курсанов**, акад. **С. А. Лебедев**, акад. **И. Н. Назаров**, акад. **А. И. Некрасов**, акад. **А. И. Опарин** (главный редактор), акад. **Е. Н. Павловский**, акад. **Л. И. Седов**, акад. **Н. М. Страхов**, акад. **А. Н. Фрумкин** (зам. главного редактора)

25-й ГОД ИЗДАНИЯ

1957

Том 113, № 1

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА *Стр.*

И. Берштейн. К вопросу о периодических решениях нелинейных систем с малым параметром 9
Ю. А. Брудный и **И. Е. Гопенгауз.** Об одном вопросе Н. Н. Лузина 12
Н. Я. Виленкин. Матричные элементы неприводимых унитарных представлений группы вещественных ортогональных матриц и группы движений (n — 1)-мерного евклидова пространства 16
Р. Х. Зарипов. Системы особых интегральных уравнений типа свертки . . . 20
Е. И. Ким. Решение одного класса сингулярных интегральных уравнений с контурным интегралом 24
В. Б. Лидский. Условия полной непрерывности резольвенты несамосопряженного дифференциального оператора 28
Ю. И. Любич. Некоторые тауберовы теоремы для обобщенных преобразований Фурье 32
В. М. Цодыкс. О множествах точек, где производная равна, соответственно, $+\infty$ и $-\infty$ 36
Ю. И. Янов. О равносильности и преобразованиях схем программ 39

МЕХАНИКА

И. И. Артоболевский. Об одном механическом преобразователе 43
В. А. Егоров. Некоторые вопросы динамики полета к Луне 46
Л. И. Рубинштейн. О решении задачи Н. Н. Веригина 50
Г. М. Уланов. Об одном обобщении теории накопления отклонений и приложении ее к определению автоколебаний в генераторах 54

ГИДРОМЕХАНИКА

Г. А. Домбровский. О периодичности струи, выходящей из симметричного сопла на расчетном режиме 58

АСТРОНОМИЯ

Б. Ю. Левин и **Г. Л. Слонимский.** К вопросу о происхождении метеоритных хондр 62

ФИЗИКА Стр.

Е. Б. Бажанов, Ю. М. Волков, А. П. Комар, Л. А. Кульчицкий и В. П. Чижов. Энергетическое и угловое распределение быстрых фотопротонов из Ni и Al 65
Ю. А. Гольфанд. Ферми-поля и спиноры бесконечномерного пространства . . 68
И. Г. Кесаев. О делении катодного пятна электрической дуги 71
Н. А. Перфилов, В. П. Шамов и О. В. Ложкин. Тройное деление урана на быстрых частицах 75
Г. В. Спивак, Т. Н. Домбровская и Н. Н. Седов. Наблюдение доменной структуры ферромагнетика при помощи фотоэлектронов 78

ГЕОФИЗИКА

В. Б. Соллогуб, П. Я. Галушко, А. А. Вопилкин и А. М. Патиоха. О некоторых факторах, влияющих на величину скорости распространения упругих колебаний в горных породах 82
А. И. Фельзенбаум. Обобщение теории установившихся течений мелкого моря на случай переменного коэффициента вертикального обмена 86

БИОФИЗИКА

С. Н. Александров. О зависимости рентгенотерапевтического эффекта от общей устойчивости животных — носителей злокачественных новообразований 90

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. А. Есепкина. Об одном методе измерения диаграмм направленности радиотелескопов с высокой разрешающей способностью 94
Н. В. Котельников. Создание магнитной текстуры магнитным полем в тонких слоях железа, получаемых электролитическим методом 97
Л. С. Палатник и Г. В. Федоров. Фотометрическое определение толщины полупрозрачных металлических покрытий 100

ХИМИЯ

И. П. Алимарин и В. С. Сотников. Исследование органических производных селенистой и теллуристой кислот как аналитических реагентов 105
О. А. Есин и В. А. Чечулин. Электролиз расплавов $CaO — Al_2O_3 — SiO_2$ . . 109
И. Л. Кнунянц и Н. С. Вязанкин. Восстановительная димеризация производных α,β-ненасыщенных кислот 112
Д. Н. Курсанов, Н. К. Баранецкая и В. Н. Сеткина. О взаимодействии хлористого бензилпиридиния с циклопентадиениллитием 116
А. Н. Несмеянов, Р. Х. Фрейдлина и Е. Ц. Чуковская. Термическая теломеризация трихлорсилана с этиленом 120

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М. Г. Гоникберг, В. М. Жулин, В. Т. Алексанян и Х. Е. Стерин. Исследование полимеризации 2,3-диметилбутена-2, 2,3-диметилбутена-1 и 3,3-диметилбутена-1 при давлениях до 4000 атм. 123
П. П. Пугачевич и В. Б. Лазарев. Поверхностное натяжение тройных металлических растворов Hg — Cd — K при 22° 127
Ю. С. Саясов и Н. С. Ениколопян. О диффузии активных центров при квадратичном обрыве цепей и объеме 130
Е. Е. Сегалова, Е. С. Соловьева и П. А. Ребиндер Кристаллизационное структурообразование в суспензиях трехкальциевого алюмината 134
В. Л. Хейфец, Е. С. Козич и О. М. Данилович. Закономерности включения меди, сурьмы, свинца, кобальта, железа и цинка в катодный осадок олова 138

ГЕОХИМИЯ

П. Л. Безруков и Э. А. Остроумов. О распределении фосфора в осадках Охотского моря 142

БИОХИМИЯ

Г. А. Критский. Взаимосвязь биохимических превращений неорганического фосфата и дезоксирибонуклеиновой кислоты 146
И. С. Луганова, И. Ф. Сейц и В. И. Теодорович. Поверхностно-локализованная аденилпирофосфатаза в лейкоцитах 149

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Г. Н. Волосевич и Д. Н. Полубояринов. К вопросу о путях регулирования микроструктуры корундовой керамики 153

ГЕОЛОГИЯ

О. К. Бордовский. Гуминовые вещества в осадках западной части Берингова моря 155

Стр.

А. А. Величко. О геологическом возрасте верхнепалеолитических стоянок бассейна средней Десны и их стратиграфическом значении 161
М. Е. Воскобойников. О времени установления платформенного режима в Восточном Приаралье 165
В. С. Журавлев. Морские отложения верхнего альба в Прикаспийской синеклизе 169

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Г. А. Гонсовская. Особенности формирования фумарольных терм Южной Камчатки 172
А. Е. Святловский. О гидрогеологическом районировании термальных подземных вод Камчатки 175

ПЕТРОГРАФИЯ

Г. И. Носов. Состав некарбонатной примеси в писчем мелу и ее влияние на физико-механические свойства породы 179

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Б. П. Вьюшков. Новые необыкновенные животные из отложений татарского яруса Европейской части СССР 183

ГИСТОЛОГИЯ

В. П. Бабминдра. Афферентная иннервация верхнего шейного ганглия человека 187
Н. А. Колесникова. Реактивные изменения эндотелия мелких сосудов после длительного сдавливания мягких тканей конечностей 191
С. Г. Кулькин. Развитие афферентной иннервации интрамуральных ганглиев мочевого пузыря человека 195
А. Н. Ливен. Материалы к вопросу об иннервации пищевода позвоночных животных и человека 199
К. Г. Щитков. Изменения моторных нервных окончаний в процессе рабочей гипертрофии скелетных мышц 203

ГЕНЕТИКА

М. Ключарева. Выяснение путей возникновения форм с материнской наследственностью при скрещиваниях ржи с пшеницей 207

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. Я. Березовский и **В. Ф. Курочкина.** Изучение влияния 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты на поступление и распределение P^{32} в растении . . . 210
П. А. Власюк, Г. В. Поруцкий, С. В. Чередниченко и **С. Н. Долгий.** Влияние некорневой подкормки на повышение всхожести семенного материала . . 214
М. А. Ильинская-Центилович и **Б. И. Гурьев.** Особенности процесса формирования стебля у сортов озимой пшеницы в связи с полеганием 217

ФИЗИОЛОГИЯ

А. Н. Алиев. Механизмы развития интоксикации при введении в организм животных подпороговых доз токсина септического вибриона 220
Э. М. Плисецкая. Влияние ацетилхолина и адреналина на мускулатуру кишечника и мочевого пузыря лягушки в онтогенезе 223
Н. П. Самошкин. Об изменениях основного обмена у кроликов в процессе развития экспериментального атеросклероза 227
А. М. Уголев. Адаптивные свойства желудочного сока 230

ЭМБРИОЛОГИЯ

В. И. Канторова. Строение межкотиледонного хориона коровы (Bos taurus) 233
Н. Н. Ротт. О некоторых закономерностях роста куриного зародыша при разных температурах инкубации 237

CONTENTS

MATHEMATICS *Pages*

I. Berstein. On the problem of periodical solutions of non-linear systems with a small parameter 9
Yu. A. Brudny and **I. E. Hopenhaus.** On a problem raised by N. N. Lusin . . . 12

Pages

N. J. Vilenkin. The matrix elements of irreducible unitary representations of the group of real orthogonal matrices and group of Euclidean $(n-1)$-dimensional space motions 16
R. Kh. Zaripov. Systems of singular integral convolution equations 20
E. I. Kim. Solution of a certain class of singular integral equations with line integrals 24
V. B. Lidskii. Conditions for a complete continuity of the resolvent of a differential operator 28
Yu. I. Lubich. Some Tauberian theorems for generalized Fourier transformations 32
V. M Tzodiks. On sets of points where the derivative is $+\infty$ or $-\infty$ correspondingly 36
Yu. I. Yanov. On equivalency and transformations of program schemes . . . 39

MECHANICS

I. I. Artobolevsky. On a mechanical transformer 43
V. A. Egorov. Some problems of dynamics of Moon flight 46
L. I. Rubinstein. On the solution of Veriguin's problem 50
G. M. Ulanov. On a generalization of the deflection accumulation theory and its use for determining autooscillations in generators 54

FLUID MECHANICS

G. A. Dombrovsky. On the periodicity of a jet coming out of a symmetrical nozzle under rated conditions 58

ASTRONOMY

B. J. Levin and G. L. Slonimskii. On the origin of meteoritic chondrules 62

PHYSICS

E. B. Bazhanov, Yu. M. Volkov, A. P. Komar, L. A. Kulchitsky and V. P. Chizhov. Angular and energy distribution of fast photoprotons from Ni and Al 65
Yu. A. Golfand. The Fermi fields and spinors of a space of an infinite number of dimensions 68
I. G. Kesaev. On the division of the cathode spot of an electric arc 71
N. A. Perfilov, V. P. Shamov and O. V. Lozhkin. The triple division of uranium on fast particles 75
G. V. Spivak, T. N. Dombrovskaya and N. N. Sedov. The examination of the domain structure of a ferromagnetic by means of photoelectrons 78

GEOPHYSICS

V. B. Sollogub, P. J. Galushko, A. A. Vopilkin and A. M. Patiokha. On certain factors influencing the rate of propagation of elastic vibrations in rocks . 82
A. I. Felsenbaum. On extension of the theory of steady currents in a shallow sea to the case where the coefficient of vertical exchange is a variable 86

BIOPHYSICS

S. N. Alexandrov. On the dependence of the x-ray therapeutic effect upon the general resistance of animals carrying malignant neoplasms 90

TECHNICAL PHYSICS

N. A. Esepkina. On a method of measuring directivity diagrams for radiotelescopes of high resolving power 94
N. V. Cotelnicow. The creation of magnetic texture by the magnetic field in thin layers of iron obtained by the electrolytic method 97
L. S. Palatnik and G. V. Fedorov. A photometric determination of the thickness of semitransparent metal layers 100

CHEMISTRY

I. P. Alimarin and V. S. Sotnikov. Investigation of organic derivatives of selenic acid and telluric acid, as analytical reagents 105
O. A. Esin and V. A. Chechulin. Electrolysis of $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ melts . . 109
I. L. Knuniants and N. S. Viazankin. Reduction dimerization of derivatives of α,β-unsaturated acids 112
D. N. Kursanov, N. K. Baranetskaya and W. N. Setkina. The interaction of benzylpyridinium chloride with cyclopentadienyllithium 116
A. N. Nesmeianov, R. Kh. Freidlina E. Ts. Chukovskava. Thermal telomerization of trichlorosilane with ethylene 120

PHYSICAL CHEMISTRY

M. G. Gonikberg, V. M. Zhulin, V. T. Alexanian and Kh. E. Sterin. The polymerization of 2,3-dimethylbutene-2, 2,3-dimethylbutene-1 and 3,3-dimethylbutene-1 at pressures up to 4000 atm. 123

Pages

P. P. Pugachevich and V. B. Lazarev. Surface tension of ternary metal solutions Hg — Cd — K at 22° 127
Yu. S. Sayasov and N. S. Enikolopian. On the diffusion of active centres in the volume when there is a quadratic rupture of chains 130
E. E. Segalova, E. S. Solovieva and P. Rehbinder. Development of crystallization structures in tricalcium aluminate suspensions 134
V. L. Kheifets, E. S. Kozich and O. M. Danilovich. Regularities in the capture of copper, antimony, lead, cobalt, iron and zinc admixtures by a cathode deposit of tin 138

EOHEMISTRY

P. L. Bezrukov and E. A. Ostroumov. On phorphorus distribution in the sediments of the Okhotsk sea 142

IOCHEMISTRY

G. A. Kritskij. Interaction between the biochemical transformations of inorganic phosphate and desoxyribonucleic acid 146
I. S. Luganova, I. F. Seitz and W. I. Theodorowich. Surface-localized adenylpyrophosphatase in white blood cells 149

CHEMICAL TECHNOLOGY

G. N. Volosevich and D. N. Poluboiarinov. On the ways of controlling the microstructure of corundum ceramics 152

EOLOGY

O. K. Bordovsky. Humic substances in the deposits of the western part of the Bering sea 157
A. A. Velichko. On the geologic age of the upper-paleolithic settlements in the basin of the middle Desna, and their stratigraphic importance 161
M. E. Voskoboinikov. On the period of settling of the platform system in the east of the Near-Aralian region 165
V. S. Zhuravlev. Marine deposits of the Upper Albian in the Near-Caspian syneclise 169

IY DROGEOLOGY

G. A. Gonsovskaya. The peculiar features in the formation of fumaroles of South Kamchatka 172
A. E. Svyatlovsky. Hydrogeological regional subdivision of thermal underground waters of the Kamchatka 175

ETROGRAPHY

G. I. Nosov. The composition of non-carbonate admixture in writing-chalk, and its influence upon the physical-mechanical properties of the rock 179

ALAEONTOLOGY

B. P. Vyushkov. New animals from deposits of the Tartarian stage of the European part of the USSR 183

ISTOLOGY

V. P. Babmindra. The afferent innervation of the upper jugular ganglion in man 187
N. A. Kolesnikova Reactive changes in the endothelium of small vessels, following prolonged compression of the soft tissues of extremities 191
S. G. Kulkin. Development of afferent innervation of intramural ganglia in the bladder of man 195
A. N. Lieven. A contribution to the problem of oesophagus innervation in vertebrates and in man 199
K. G. Shchitkov. Modifications of neural motor terminations, as a result of hypertrophy of skeletal muscles produced by extensive working 203

ENETICS

M. Kluchareva. On the ways of origination of forms endowed with maternal heredity in crosses between rye and wheat 207

LANT PHYSIOLOGY

M. J. Berezowsky and V. F. Kurochkina. A contribution to the study of the effect of 2,4-dichlorphenoxyacetic acid upon the supply and distribution of P^{32} to the plant 210
P. A. Vlassiuk, G. B. Porutsky, S. V. Cherednichenko and S. N. Dolgy. The effect of supplementary feeding by way of aerial organs upon germination power in sowing material 214

M. A. Ilynskaya-Tsentilovich and **B. P. Guryev.** Peculiar features of the stem formation process in winter wheat varieties with regard to «lodging» . . . 21

PHYSIOLOGY

A. N. Aliev. The modes of development of intoxication in the case of administration to animals of subthreshold doses of Vibrio septic toxin 22
E. M. Plissetskaya. Intestine and bladder musculature of a frog in the ontogenesis, as acted upon by acetylcholine and adrenalin 22
N. P. Samoshkin. On the changes occurring in the basal metabolism of rabbits in the course of development of experimental aterosclerosis 22
A. M. Ugolev. Adaptive properties of gastric juice 23

EMBRYOLOGY

V. I. Kanterova. The structure of intercotyledonal chorion in Bos taurus 23
N. N. Rott. On certain regularities observed in the growth of a chick embryo at different temperatures of incubation 23

ПОПРАВКИ

В статье Б. Б. Говоркова, В. И. Гольданского, О. А. Карпухиной, А. В. Куценко и В. В. Павловской «Упругое рассеяние γ-квантов с энергией до 120 Мэв протонами», помещенной в ДАН, т. 111, № 5, 1956 г.:

	Напечатано	Следует читать
стр. 989, строка 1 снизу	ФЭУ-19-II	ФЭУ-19-*М*
» 990, » 1 »	статистического магнитного момента	статического магнитного момента
» 991	Поступило 14 VI 1956	Поступило 14 VIII 1956

В статье тех же авторов «Зависимость сечений фотообразования π^0-мезонов от массовых чисел ядер», помещенной в ДАН, т. 112, № 1, 1957 г.:

	Напечатано	Следует читать
стр. 40, строка 23	Выход фотообразования π^0-мезонов ... превышает выход для π^0-мезонов	Выход фотообразования $\pi^\pm$-мезонов ... превышает выход для π^0-мезонов
Подпись к рис. 4	*1* — $\sigma_{\pi^0 n} / \sigma_{\pi^- p}$; *2* — $\sigma_{\pi^0 p} / \sigma_{\pi^+ n}$	*I* — $\sigma_{\pi^0 p} / \sigma_{\pi^+ n}$; *II* — $\sigma_{\pi^0 n} / \sigma_{\pi^- p}$

В табл. 1, в верхней строке 4-й и 5-й столбцы объединены под $E_{макс} = 200$ Мэв; должно быть: 4-й столбец $\overline{E}_{макс} = 200$ Мэв, 5-й столбец $\overline{E}_{макс} = 180$ Мэв.

При обозначении $E_{макс}$ в таблице и в тексте всюду опущен индекс усреднения; должно быть $\overline{E}_{макс}$.

В нашей статье, помещенной в ДАН, т. 111, № 1, 1956 г. (В. С. Кирпичников, А. Н. Световидов и А. С. Трошин, «Мечение карпа радиоактивными изотопами фосфора и кальция»), в табл. 1 в наших расчетах допущена ошибка: цифры двух последних колонок должны быть в 10 раз меньше приведенных в таблице.

В. Кирпичников, А. Трошин, А. Световидов

Т-03153 Подписано к печати 6 IV 1957 г. Тираж 5900 экз. Зак. 1212
Формат бумаги 70×108 1/16. Бум. л. 7 1/2 Печ. л. 20,55+7 вкл. Уч.-изд. л. 20,9

2-я типография Издательства Академии наук СССР. Москва, Шубинский пер., 10

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИКА

И. БЕРШТЕЙН

К ВОПРОСУ О ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЯХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С МАЛЫМ ПАРАМЕТРОМ

(Представлено академиком И. Г. Петровским 29 IX 1956)

В теории нелинейных колебаний представляет интерес получение общих качественных теорем, касающихся поведения периодических решений при малых постоянно действующих возмущениях, независимо от каких-либо специальных свойств этих возмущений. В частности, можно поставить следующий вопрос: если периодическое решение асимптотически устойчиво (т. е. если оно сохраняется некоторым образом при любых малых изменениях начальных данных), можно ли утверждать, что при малых периодических постоянно действующих возмущениях существует периодическое решение в некоторой его окрестности? Получение ответа на этот вопрос и является целью настоящей заметки. Частичные результаты в этом направлении получены Х. Антосиевичем (1) и А. Халанаем (2).

Будем рассматривать систему уравнений

$$\frac{dx}{dt} = X(x, t) + \mu Y(x, t, \mu), \tag{1}$$

где $x = (x_1, \ldots, x_n)$, $X = (X_1, \ldots, X_n)$, $Y = (Y_1, \ldots, Y_n)$, причем:

1) $X(x, t)$, $Y(x, t, \mu)$ — непрерывные вектор-функции, периодические по t с периодом ω, определенные при $|x| \leqslant \rho$ и всех t ($|x| = \sqrt{x_1^2 + \ldots + x_n^2}$);

2) в любом цилиндре $|x| \leqslant \rho$, $0 \leqslant t \leqslant T$ обеспечена единственность решений и непрерывная их зависимость от начальных значений и от параметра μ;

3) тривиальное решение $x = 0$ производящей системы

$$\frac{dx}{dt} = X(x, t) \tag{2}$$

является асимптотически устойчивым (заметим, что общий случай ненулевого асимптотически устойчивого решения легко сводится к этому случаю простой заменой неизвестной функции).

Теорема. *В случае выполнения условий* 1) — 3) *система* (1) *при* $|\mu| < \mu_0$ *допускает периодические решения, расположенные в окрестности* * *решения* $x = 0$ *системы* (2).

Доказательство. Согласно результатам из (3), система (2) обладает периодической по t функцией Ляпунова, являющейся **: а) положительно-определенной и б) строго убывающей на интегральных кривых с возрастанием t.

Легко убедиться, что для достаточно малых $C > 0$ компонента множества $\{x | V(x, 0) \leqslant C\}$, которой принадлежит начало координат, распо-

* В том смысле, что при $\mu \to 0$ эти решения стремятся к $x = 0$.

** Из доказательства, приведенного в (3), легко усмотреть, что для выполнения условий а) и б) существование частных производных у правой части системы (2) несущественно.

ложена в любой заданной сферической окрестности начала. Из периодичности $V(x, t)$ следует, что

$$\{x \mid V(x, 0) \leqslant C\} = \{x \mid V(x, \omega) \leqslant C\}.$$

Пусть $x(x_0, 0; t)$ — решение системы (2), проходящее в момент времени $t = 0$ через x_0. Отображение φ:

$$\varphi(x_0) = x(x_0, 0; \omega) \tag{3}$$

является непрерывным (даже гомеоморфным).

Пусть D — компонента множества $\{x \mid V(x, 0) < C\}$, содержащая начало, и пусть $F = \overline{D} \setminus D$. На множестве F $V(x, 0) = V(x, \omega) = C$. Тогда

$$\varphi(\overline{D}) \subset D \tag{4}$$

(образ множества $\overline{D}$ не пересекается с множеством F, ибо на интегральных кривых фукция Ляпунова строго убывает). Так как $\varphi(\overline{D})$ компактно и связно, легко найти связный полиэдр P, такой, что

$$\varphi(\overline{D}) \subset \operatorname{int} P \subset D \subset \overline{D} \tag{5}$$

($\operatorname{int} P$ = множество внутренних точек P). Полиэдр P может быть, например, построен из достаточно мелких кубов с ребрами, параллельными координатным осям.

Из (5) следует

$$\varphi(P) \subset \operatorname{int} P. \tag{6}$$

Топологическая лемма о неподвижной точке. *Если непрерывное отображение φ полиэдра P в себя, повторенное k раз, дает отображение φ^k, $\varphi^k(x) = \varphi(\varphi^{k-1}(x))$, гомотопное (или даже лишь гомологичное) постоянному отображению, то число Лефшеца отображения φ равно единице*

$$\Lambda(\varphi) = 1, \tag{7}$$

и, следовательно, φ имеет неподвижную точку.

Доказательство получается из следующего алгебраического замечания: след нильпотентного эндоморфизма свободной абелевой группы с m образующими всегда равен нулю.

Действительно, в фиксированном базисе след эндоморфизма определяется как сумма диагональных элементов матрицы этого эндоморфизма, равная также сумме характеристических чисел. Но характеристические числа нильпотентной матрицы равны нулю.

По определению числа Лефшеца

$$\Lambda(\varphi) = \sum_{r=0}^{n} (-1)^r \operatorname{Sp}(\psi_r), \tag{8}$$

где ψ_r — эндоморфизм r-мерной группы слабых гомологий полиэдра P, порождаемый отображением φ:

$$\psi_r = \Delta_{00}^r \to \Delta_{00}^r \tag{9}$$

(обозначения взяты из ([4])). Но при $r > 0$ эндоморфизм ψ_r нильпотентен и $\operatorname{Sp}(\psi_r) = 0$, так как эндоморфизм $(\psi_r)^k$ соответствует отображению φ^k, а φ^k, по предположению, гомологично постоянному отображению. Ввиду связности P $\operatorname{Sp}(\psi_0) = 1$, и мы получаем $\Lambda(\varphi) = 1$. Лемма доказана *.

---

* В работе Лерэя ([7]) находится следующее предложение: если при отображении φ компакта P в себя множество $\bigcap_{k=1}^{\infty} \varphi^k(P)$ одноточечно, то $\Lambda(\varphi) = 1$ ([5], стр. 479, теорема 20, следствие 20). Легко убедиться, что теорема настоящей заметки может быть доказана и при помощи этого предложения.

Вернемся к доказательству теоремы. Пусть $U_\varepsilon \subset P$ — сферическая
естность начала координат. Из асимптотической устойчивости нулевого
ения системы (2) следует существование такого k, что $\varphi^k(P) \subset U_\varepsilon$
— полиэдр со свойством (6), а φ — отображение из (4)). Действительно,
$k\omega > T_\varepsilon$

$$\varphi^k(x_0) = x(x_0, 0; k\omega) \in U_\varepsilon.$$

Определим для системы (1) отображение

$$\varphi_{(\mu)}(x_0) = x_{(\mu)}(x_0, 0; \omega), \tag{10}$$

$x_{(\mu)}$ — решение системы (1). В силу непрерывной зависимости реше-
от μ

$$\varphi_{(\mu)}(P) \subset \operatorname{int} P, \quad (\varphi_{(\mu)})^k(P) \subset U_\varepsilon \text{ при } |\mu| < \mu_0. \tag{11}$$

Тогда для отображения $\varphi_{(\mu)}$ выполнены все предположения топологи-
кой леммы. Действительно отображение $(\varphi_{(\mu)})^k$ гомотопно постоянному
бражению, так как шар U_ε стягиваем в точку. Следовательно, $\varphi_{(\mu)}$
еет при $|\mu| < \mu_0$ неподвижную точку. Обращаясь к определению этого
бражения, мы выводим, что существует точка x_0 такая, что

$$\varphi_{(\mu)}(x_0) = x_0, \quad \text{т. е. } x_{(\mu)}(x_0, 0; t) = x_0, \tag{12}$$

то и значит, что существует периодическое решение системы (1). Из
о, что исходное множество $V(x, 0) < C$ могло быть взято в любой
естности начала координат, следует, что при $\mu \to 0$ периодическое
ение стремится к решению $x = 0$. Теорема доказана.

Выражаю благодарность А. Халанаю за постановку проблемы.

Математический институт
Академии Румынской Народной Республики
Бухарест

Поступило
7 XII 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] H. A. Antosiewicz, Ann. Math., 57, № 2, 314 (1953). [2] A. Halanay, Stiint. Sect. st. mat. fiz., 6, № 3, 483 (1954). [3] J. Massera, Ann. Math., 50, № 3, (1949). [4] П. С. Александров, Комбинаторная топология, 1947. [5] J. Leay, J. Math. pures et appl., 24, 95 (1945).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИК

Ю. А. БРУДНЫЙ и И. Е. ГОПЕНГАУЗ

ОБ ОДНОМ ВОПРОСЕ Н. Н. ЛУЗИНА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 3 XII 1956)

1. В известном списке проблем Н. Н. Лузина (1) под номером 2 ставится следующий вопрос: «Пусть $f(x)$ есть непрерывная функция; пусть $f_n(x)$ есть n-е приближение к ней. В некоторых точках, конечно, это приближение будет наиболее близким, в иных же точках это приближение будет далеким. Мера множества этих последних точек не будет ли равной 0? Разумеется, все зависит от законов приближения; наиболее интересны чебышевские или тригонометрические приближения».

Поскольку при любом фиксированном значении n в случае наилучших равномерных приближений многочленами n-го порядка нетрудно привести пример непрерывной на $[a, b]$ функции (зависящей от n), для которой мера множества M_n точек, где достигается соответствующее максимальное уклонение, сколь угодно близка к $b-a$, то, как указано в комментарии к этому списку, вопрос можно ставить так: не будет ли для любой непрерывной на $[a, b]$ функции $f(x)$ мера множества M_n равна нулю для всех достаточно больших n *? Пример функции $f(x)$, непрерывной на $[a, b]$, равной поочередно $+1$ и -1 на некоторой бесконечной последовательности непересекающихся сегментов с концами, сходящимися к b, и линейной на смежных интервалах, показывает, что для класса функций, непрерывных на полуинтервале, ответ на поставленный вопрос должен быть отрицательным **.

В своих лекциях по конструктивной теории функций, читанных в Днепропетровском университете, А. Ф. Тиман высказал предположение, что ответ должен быть отрицательным также для класса функций $f(x)$, непрерывных на замкнутом отрезке, и что в этом случае мера множества M_n стремится к нулю при $n \to \infty$. Из результатов настоящей работы вытекает справедливость этих предположений.

2. Пусть $f(x)$ — непрерывная на $[a, b]$ функция; $P_n(f; x)$ — алгебраический многочлен степени $\leqslant n$, наименее уклоняющийся от $f(x)$ на этом отрезке; $E_n(f) = \max\limits_{a \leqslant x \leqslant b} |f(x) - P_n(f; x)|$; $M_n(f)$ — множество тех точек данного отрезка, где $E_n(f) = |f(x) - P_n(f; x)|$.

Теорема 1. *Существует непрерывная на* $[a, b]$ *функция* $F(x)$ *и бесконечная последовательность натуральных чисел* n_k $(k = 0, 1, \ldots$ $n_0 < n_1 < \ldots)$ *такая, что при любом* k

$$\operatorname{mes} M_{n_k}(F) > 0. \qquad (1$$

* Приводим соответствующее место из комментариев Н. К. Бари и Д. Е. Меньшова: «Если взять некоторую функцию $f(x)$ и рассматривать для всех целых n полиномы $T_n(x)$, которые наименее от нее уклоняются, то можно вопрос ставить так: не должна ли мера того множества, где $|f(x) - T_n(x)|$ достигает своего максимума Δ_n, стать равной нулю, как только n станет достаточно большим? Этот вопрос, по-видимому, остается открытым».

** Это замечание принадлежит А. Ф. Тиману.

Для построения функции $F(x)$ образуем последовательность непрерывных функций $f_\nu(x)$ $(\nu = 0, 1, \ldots)$ так, чтобы для некоторой бесконечной последовательности чисел n_ν $(n_0 = 0 < n_1 < n_2 < \ldots)$ выполнялись следующие условия:

1) $\operatorname{mes} M_{n_k}(f_\nu) > 0$ для $k = 0, 1, \ldots, \nu$;

2) каждое множество $M_{n_k}(f_\nu)$ $(k = 0, 1, 2, \ldots, \nu)$ состоит из конечного числа точек и конечного числа сегментов;

3) график функции $f_\nu(x)$ «склеен» из конечного числа графиков многочленов степени не выше $n_\nu + 1$;

4) каково бы ни было значение $\nu = 0, 1, 2, \ldots$, для всех $k \geqslant \nu$

$$P_{n_\nu}(f_k; x) \equiv P_{n_\nu}(f_\nu; x);$$

5) для всех x на отрезке $[a, b]$

$$|f_\nu(x) - f_{\nu+1}(x)| < 1/2^\nu \quad (\nu = 0, 1, 2, \ldots);$$

6) $P_{n_k}(f_\nu; x) \not\equiv P_{n_k+1}(f; x)$ $\quad (k = 0, 1, 2, \ldots; \nu = 0, 1, 2, \ldots)$.

С этой целью, рассматривая для определенности отрезок $[0, 1]$, полагаем

$$f_0(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leqslant x \leqslant 1/2; \\ 2x - 1, & 1/2 \leqslant x \leqslant 1. \end{cases}$$

Пусть функции $f_0(x), f_1(x), \ldots, f_\nu(x)$ и индексы $0 = n_0, n_1, \ldots, n_\nu$ уже выбраны. Благодаря тому, что пересечение $M_{n_k}(f_\nu) \cap M_{n_i}(f_\nu)$ состоит из конечного числа точек, каждый сегмент, входящий в $M_{n_k}(f_\nu)$, может быть разбит точками всех других множеств $M_{n_i}(f_\nu)$ $(i \neq k;\ i, k \leqslant \nu)$ лишь на конечное число частей. Если λ'_k — число всех частей этих сегментов и λ''_k — число всех изолированных точек множества $M_{n_k}(f_\nu)$, то выберем $n_{\nu+1}$ так, чтобы $4\sum_{k=0}^{\nu}(\lambda'_k + \lambda''_k) \leqslant n_{\nu+1}$ и чтобы $P_{n_{\nu+1}}(f_\nu; x) \not\equiv P_{n_{\nu+1}+1}(f_\nu; x)$.

В случае, когда пересечение $M_{n_{\nu+1}}(f_\nu) \cap \{[0, 1] - \sum_{k=0}^{\nu} M_{n_k}(f_\nu)\}$ не пусто и содержит точку x_0, при $0 < \delta < \varepsilon$ полагаем

$$f_{\nu+1}(x) = \begin{cases} f_\nu(x), & x \in [0, 1] - (x_0 - \varepsilon, x_0 + \varepsilon); \\ P_{n_{\nu+1}}(f_\nu; x) + f_\nu(x_0) - P_{n_{\nu+1}}(f_\nu; x_0), & x \in (x_0 - \delta, x_0 + \delta). \end{cases}$$

В оставшихся двух интервалах считаем $f_{\nu+1}(x)$ линейной и непрерывной на концах.

Можно показать, что при достаточно малых ε и δ функция $f_{\nu+1}(x)$ удовлетворяет всем условиям 1) — 6). Если же указанное пересечение пусто, то найдется номер $k_0 \leqslant \nu$ и некоторый сегмент $[\xi, \eta] \subset M_{n_{k_0}}(f_\nu)$ со свойствами:

1′) на $[\xi, \eta]$ не лежит ни одна точка множества $\sum_{\substack{k=0 \\ k \neq k_0}}^{\nu} M_{n_k}(f_\nu)$;

2′) на $[\xi, \eta]$ есть одна и только одна точка $x_0 \in M_{n_{\nu+1}}(f_\nu)$;

3′) разности $f_\nu(x_0) - P_{n_{k_0}}(f_\nu; x_0)$ и $f_\nu(x_0) - P_{n_{\nu+1}}(f_\nu; x_0)$ имеют разные знаки.

В этом случае при $0 < \delta < \varepsilon < (\eta - \xi)/2\nu^2$ полагаем

$$f_{\nu+1}(x) = \begin{cases} f_\nu(x), & x \in [0, 1] - (x_0 - \varepsilon, x_0 + \varepsilon); \\ P_{n_{\nu+1}}(f_\nu; x) + f_\nu(x_0) - P_{n_{\nu+1}}(f_\nu; x_0), & x \in (x_0 - \delta, x_0 + \delta). \end{cases}$$

В оставшихся двух интервалах считаем $f_{\nu+1}(x)$ линейной и непрерывной на концах.

Можно показать, что при достаточно малых ε и δ функция $f_{\nu+1}$ удовлетворяет условиям 1) — 6).

Непрерывная функция $F(x) = \lim\limits_{\nu \to \infty} f_\nu(x)$ в силу 1) — 6) удовлетворяет условию (1), так как

$$P_{n_\nu}(F; x) \equiv P_{n_\nu}(f_\nu; x) \quad (\nu = 0, 1, \ldots),$$

и, следовательно,

$$\operatorname{mes} M_{n_\nu}(F) \geqslant \operatorname{mes} \bigcap_{k=\nu}^{\infty} M_{n_\nu}(f_k) = \lim_{k \to \infty} \operatorname{mes} M_{n_\nu}(f_k) \geqslant$$

$$\geqslant \operatorname{mes} M_{n_\nu}(f_\nu) \prod_{k=\nu}^{\infty} \cdot \left(1 - \frac{1}{k^2}\right) > 0.$$

Теорема доказана.

3. Пусть теперь $s_n(f; x)$ — частная сумма Фурье порядка n периодической периода 2π функции $f(x)$. Обозначим через $M_n(f)$ множество точек $x \in [0, 2\pi]$, для которых выполняется соотношение

$$|f(x) - s_n(f; x)| = \max_{0 \leqslant t \leqslant 2\pi} |f(t) - s_n(f; t)|.$$

Тогда имеет место следующая теорема.

Теорема 2. *Существует непрерывная на* $[0, 2\pi]$ *функция* $F(x)$ *и бесконечная подпоследовательность чисел* n_k $(k = 0, 1, 2, \ldots;\ n_0 < n_1 < n_2 < \ldots)$ *такие, что при любом* k

$$\operatorname{mes} M_{n_k}(F) > 0.$$

Теорема может быть доказана методом, в котором используются соображения предыдущего доказательства и некоторые свойства рядов Фурье.

4. Пусть Q — некоторое множество конечной меры и $\{f_n(x)\}_0^\infty$ — произвольная последовательность ограниченных на Q измеримых функций, для которых при любых $n = k$ разность $f_k(x) - f_n(x)$ может принимать постоянное значение лишь на подмножестве меры нуль.

Теорема 3. *Если* $R_n = \sup\limits_{x \in Q} |f_n(x)|$ *и* $M_n^{(\alpha)}$ *— множество тех* $x \in Q$, *для которых* $|f_n(x)| = \alpha R_n$, *то*

$$\lim_{n \to \infty} \operatorname{mes} M_n^{(\alpha)} = 0.$$

Для доказательства следует заметить, что, при $k \neq n$

$$\operatorname{mes}\{M_k^{(\alpha)} \cap M_n^{(\alpha)}\} = 0.$$

Укажем некоторые важные частные случаи теоремы 2.

Следствие 1. Пусть $\varphi_0(x) \equiv 1$, $\varphi_1(x), \ldots$ — последовательность непрерывных функций, обладающая тем свойством, что при любом n система $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \ldots, \varphi_n(x)$ является чебышевской на $[a, b]$ (2). Для любой непрерывной на $[a, b]$ функции $f(x)$ рассмотрим многочлен $P_n(f; x) = \sum\limits_{k=0}^{n} C_k^{(0)} \varphi_k(x)$ $(n = 0, 1, 2, \ldots)$ наилучшего приближения порядка n. Из теоремы Чебышева об условиях наилучшего приближения легко заключить, что если $f(x)$ не является конечной линейной комбинацией функций $\varphi_k(x)$, последовательность $\{P_n(f, x)\}_0^\infty$ содержит подпоследовательность попарно различных многочленов $P_{k_n}(f; x)$ $(n = 0, 1, \ldots)$. При этом разность $P_{k_n}(f; x) - P_{k_m}(f; x)$ $(n \neq m)$ принимает постоянное значение лишь в ко-

ечном числе точек. Полагая $f_n(x) = f(x) - P_{k_n}(f; x)$ и пользуясь теоремой 2, получим, что при любом α

$$\lim_{n\to\infty} \operatorname{mes} M_{k_n}^{(\alpha)}(f) = 0.$$

Отсюда следует, что $\operatorname{mes} M_n^{\alpha}(f) = 0$ при $n \to \infty$.

Следствие 2. Пусть $f(x)$ — ограниченная измеримая периода 2π функция, не являющаяся тригонометрическим полиномом; $s_n(f; x)$ — ее частные суммы Фурье порядка n; $M_n^{(\alpha)}$ — множество тех $x \in [0, 2\pi]$, при которых $|f(x) - s_n(f; x)| = \alpha \sup_x |f(x) - s_n(f; x)|$.

Из теоремы 2 заключаем, что

$$\lim_{n\to\infty} \operatorname{mes} M_n^{(\alpha)} = 0.$$

Следствие 3. Пусть $f(x)$ — ограниченная и равномерно непрерывная на всей вещественной оси функция, не являющаяся целой функцией конечной степени. При любом $\sigma > 0$ рассмотрим целую функцию $g_\sigma(f; x)$ степени $\leqslant \sigma$, наименее уклоняющуюся от $f(x)$ на $(-\infty, \infty)$. Если $A_\sigma(f) = \sup_{-\infty<x<\infty} |f(x) - g_\sigma(f; x)|$ и $M_\sigma^{(\alpha)}$ — множество тех x, для которых $|f(x) - g_\sigma(f; x)| = \alpha A_\sigma(f)$, то из теоремы 2 следует, что для любого конечного отрезка $[a, b]$

$$\lim_{\sigma\to\infty} \operatorname{mes}\{[a, b] \cap M_\sigma^{(\alpha)}\} = 0.$$

В заключение считаем своим долгом выразить благодарность проф. А. Ф. Тиману за предложенную тему и руководство.

Днепропетровский государственный университет
им. 300-летия воссоединения Украины с Россией

Поступило
25 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Н. Лузин, Интеграл и тригонометрический ряд, 1951. [2] Н. И. Ахиезер, Лекции по теории аппроксимации, 1947.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИКА

Н. Я. ВИЛЕНКИН

МАТРИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НЕПРИВОДИМЫХ УНИТАРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ГРУППЫ ВЕЩЕСТВЕННЫХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ МАТРИЦ И ГРУППЫ ДВИЖЕНИЙ ($n-1$)-МЕРНОГО ЕВКЛИДОВА ПРОСТРАНСТВА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 25 IX 1956)

В этой заметке вычислены матричные элементы неприводимых унитарных представлений группы $SO(n)$ вещественных ортогональных матриц (группы вращений n-мерного евклидова пространства) и группы $M(n-1)$ движений $(n-1)$-мерного евклидова пространства. Представления группы $SO(n)$ были изучены Э. Картаном (1), а эффективные формулы для инфинитезимальных операторов этих представлений были указаны И. М. Гельфандом и М. Л. Цетлиным (2). Найденные в нашей заметке матричные элементы представляют собой новые специальные функции, переходящие в некоторых частных случаях в многочлены Гегенбауэра (для группы $SO(n)$) и функции Бесселя (для группы $M(n-1)$). Случай $n=4$ разобран в работе (3), где эти специальные функции выражены через известные специальные функции.

В группе $SO(n)$ существует система параметров, аналогичная углам Эйлера для группы $SO(3)$. Каждый элемент ω группы $SO(n)$ может быть представлен в виде

$$\omega = \psi\omega_{n-1}\omega_{n-2}\dots\omega_1, \qquad (1)$$

где ψ — вращение, оставляющее неизменной ось x_n (т. е. некоторый элемент подгруппы $SO(n-1)$), а ω_k — вращение в плоскости (x_k, x_{k+1}) на угол $\varphi_k^{(n-1)}$. Разлагая аналогичным образом вращение ψ и т. д., мы получаем систему параметров $\varphi_k^{(t)}$, $1 \leqslant t \leqslant n-1$, $1 \leqslant k \leqslant t$, превращающуюся при $n=3$ в систему углов Эйлера. Инвариантная мера в этих параметрах записывается в виде произведений инвариантных мер на сферах размерностей $n-1$, $n-2, \dots, 1$. Умножение двух элементов группы $SO(n)$ сводится в силу разложения (1) и некоторых соотношений перестановочности к умножениям в группе $SO(n-1)$ и к замене произведения вида $\omega_{n-1}^{*}\omega_{n-2}\omega_{n-1}^{**}$ произведением вида $\omega_{n-2}^{*}\omega_{n-1}\omega_{n-2}^{**}$ (ω_k, ω_k^{*}, ω_k^{**} — вращения в плоскости (x_k, x_{k+1})).

Как показано в (1), неприводимые унитарные представления группы $SO(n)$ задаются совокупностью $\{L\}$ чисел m_k, $1 \leqslant k \leqslant [n/2]$, $m_k \geqslant m_{k+1}$, причем все числа m_k одновременно целые или полуцелые. Базисные векторы ξ_α^L таких представлений нумеруются при помощи схем, описанных в (2) (формулы (2), (2′)). Соответственно этому матричные элементы представления записываются в виде $t_{\alpha\beta}^L(\omega)$, где α и β — схемы из (2).

Будем вычислять матричные элементы неприводимых унитарных представлений группы $SO(n)$ при помощи индукции по n. Для $n=2$ эти матричные элементы известны, они равны $e^{ik\varphi}$. Пусть уже известны матричные элементы для всех неприводимых унитарных представлений групп $SO(k)$, $2 \leqslant k \leqslant n-1$. Зададим числа m_k, $1 \leqslant k \leqslant [n/2]$, определяющие представление группы $SO(n)$. Пусть α — одна из схем, соответствующих

ыисным векторам этого представления. Тогда первая строка A этой
мы определяет представление $\psi \to Q_\psi$ группы $SO(n-1)$, а схема $\bar{\alpha}$,
учаемая из α отбрасыванием первой строки, есть базисный вектор $\xi_{\bar{\alpha}}$
дставления Q_ψ. Обозначим через $B(L, A)$ совокупность всех схем,
ответствующих тем базисным векторам представления Q_ψ, для которых
вая строка состоит из чисел m_k, $2 \leqslant k \leqslant [n/2]$, а через $\xi^L_\alpha(\psi)$ — сово-
ность матричных элементов представления Q_ψ, имеющих вид $t^A_{\nu\bar{\alpha}}(\psi)$,
$B(L, A)$. Тогда $\xi^L_\alpha(\psi)$ можно рассматривать как вектор-функцию, задан-
о на группе $SO(n-1)$. Обозначим через H_L конечномерное простран-
о, натянутое на все вектор-функции $\xi^L_\alpha(\psi)$. Представление $\omega \to T_\omega$ группы
(n), определяемое числами m_k, $1 \leqslant k \leqslant [n/2]$, строится следующим
разом. Элементу ψ_0 подгруппы $SO(n-1)$ ставится в соответствие опе-
тор T_{ψ_0}, отображающий вектор-функцию $\xi(\psi)$ из H_L в вектор-функцию
ψ_0). Вращению же ω_{n-1} на угол λ в плоскости (x_{n-1}, x_n) сопоставим
ератор T_λ, отображающий вектор-функцию $\xi(\psi)$ в вектор-функцию
$\xi(\psi)$, которая получается из $\xi(\psi)$ заменой $\cos\theta$ на

$$\frac{\cos\lambda\cos\theta + i\sin\lambda}{i\sin\lambda\cos\theta + \cos\lambda} \tag{2}$$

умножением на $(i\sin\lambda\cos\theta + \cos\lambda)^{m_1}$. Через θ мы обозначили угол
$^{-2)}$, соответствующий в описанной выше параметризации вращению ψ.
ля любого элемента ω из $SO(n)$ положим, в соответствии с разложе-
ем (1), $T_\omega = T_\psi T_\lambda T_{\psi_1}$, где через ψ_1 обозначен элемент $\omega_{n-2}\omega_{n-1}\ldots\omega_1$
дгруппы $SO(n-1)$. Можно показать, что соответствие $\omega \to T_\omega$ является
приводимым представлением группы $SO(n)$. Скалярное произведение,
носительно которого унитарно это представление, задается формулой
ида $(\xi^L_\alpha(\psi), \xi^L_\beta(\psi)) = 0$, если $\alpha \neq \beta$;

$$(\xi^L_\alpha(\psi), \xi^L_\alpha(\psi)) = C\int \sum_{\nu \in B(L, A)} |t^A_{\nu\bar{\alpha}}(\psi)|^2 d\mu(\psi), \tag{3}$$

е C — некоторое число, зависящее от α, L и n.

Матричные элементы построенных представлений вычисляются по фор-
уле $t^L_{\alpha\beta}(\omega) = (T_\omega \xi^L_\beta, \xi^L_\alpha)$. Пусть ψ_0 — элемент подгруппы $SO(n-1)$. Тогда
ответствующий оператор T_{ψ_0} задается клеточно-диагональной матрицей,
главной диагонали которой стоят матрицы неприводимых унитарных
редставлений подгруппы $SO(n-1)$, определяемых первыми строками
опустимых схем. Рассмотрим теперь вращение ω_{n-1} на угол λ в плоско-
и (x_{n-1}, x_n). Пусть $\|t^L_{\alpha\beta}(\lambda)\|$ — матрица оператора T_λ. Тогда $t^L_{\alpha\beta}(\lambda) = 0$,
сли схемы $\bar{\alpha}$ и $\bar{\beta}$, получаемые из α и β отбрасыванием первых строк A и B,
азличны. Пусть теперь $\bar{\alpha} = \bar{\beta}$. Обозначим через K совокупность чисел m_k,
$\leqslant k \leqslant [n/2]$, через N — первую строку схемы $\bar{\alpha} = \bar{\beta}$, через γ — схему,
олучающуюся из $\bar{\alpha}$ отбрасыванием первой строки, и через ν — схему,
олучающуюся из $\bar{\alpha}$ заменой первой строки на K. Через $P^A_{M,\,N,\,\gamma}(\cos\theta)$
бозначим значение матричного элемента $t^A_{\nu\bar{\alpha}}(\psi)$, соответствующее вращению
а угол θ в плоскости (x_{n-2}, x_{n-1}). Тогда

$$t^L_{\alpha\beta}(\lambda) = P^L_{A,\,B,\,\bar{\alpha}}(\cos\lambda) =$$

$$C\int_{-1}^{1} P^B_{M,\,N,\,\gamma}\left(\frac{x\cos\lambda + i\sin\lambda}{ix\sin\lambda + \cos\lambda}\right)\overline{P^A_{M,\,N,\,\gamma}(x)}\,(ix\sin\lambda + \cos\lambda)^{m_1}(1-x^2)^{\frac{n-4}{2}}\,dx, \tag{4}$$

е C — некоторая постоянная. Если схемы α и β состоят из нулей, то
$_\beta(\lambda)$ с точностью до постоянного множителя совпадает с полиномом
$_{n_1}(\cos\lambda)$ Гегенбауэра, $p = (n-2)/2$.

Функция $P^L_{A,B,\bar{\alpha}}(\cos\theta)$ удовлетворяет следующей теореме.

Теорема сложения. *Пусть параметры* θ_1, φ, θ_2 *и* φ_1, θ, φ_2 *связаны соотношениями*

$$\cos\theta = \cos\theta_1\cos\theta_2 - \sin\theta_1\sin\theta_2\cos\varphi, \tag{5}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{\sin\varphi\sin\theta_1}{\sin\theta_1\cos\theta_2\cos\varphi + \cos\theta_1\sin\theta_2}, \tag{6}$$

$$\operatorname{tg}\varphi_2 = \frac{\sin\varphi\sin\theta_2}{\cos\theta_1\sin\theta_2\cos\varphi + \cos\theta_2\sin\theta_1}. \tag{7}$$

Тогда имеет место равенство

$$\sum_{N_3} P^A_{N_1,N_3,\gamma}(\cos\varphi_1)\,P^L_{A,B,\beta_3}(\cos\theta)\,P^B_{N_3,N_2,\gamma}(\cos\varphi_2) =$$

$$= \sum_C P^L_{A,C,\beta_1}(\cos\theta_1)\,P^C_{N_1,N_2,\gamma}(\cos\varphi)\,P^L_{C,B,\beta_2}(\cos\theta_2), \tag{8}$$

где через β_k *обозначена схема, получающаяся из схемы* γ *добавлением в качестве первой строки последовательности* N_k, $k = 1, 2, 3$.

Из указанной теоремы сложения вытекают приведенные в [2] инфинитезимальные соотношения между базисными векторами.

Представления группы $M(n-1)$ строятся во многом аналогично представлениям группы $SO(n)$. Они задаются совокупностью $\{K\}$ целых или полуцелых чисел m_k, $2 \leqslant k \leqslant [n/2]$, $m_k \geqslant m_{k+1}$, и числом $\rho > 0$. Схемы, соответствующие базисным векторам представлений, аналогичны схемам из [2] с тем лишь отличием, что первый элемент первой строки может принимать сколь угодно большое значение. Соответственно этому пространство представления $H_{K,\rho}$ бесконечномерно. Вращению ψ_0 $(n-1)$-мерного пространства ставится в соответствие оператор T_{ψ_0}, переводящий вектор-функцию $\xi(\psi)$ в вектор-функцию $\xi(\psi\psi_0)$. Переносу же на вектор длины R, направленный по оси x_{n-1}, ставится в соответствие оператор T_R, переводящий вектор-функцию $\xi(\psi)$ в вектор-функцию $e^{iR\rho\cos\theta}\xi(\psi)$. Здесь через θ обозначен угол $\varphi^{(n-2)}_{n-2}$, соответствующий элементу ψ группы $SO(n-1)$ в описанной выше параметризации. Матрица оператора T_{ψ_0} — бесконечная клеточно-диагональная матрица, на главной диагонали которой стоят матрицы неприводимых унитарных представлений группы $SO(n-1)$. Матрица оператора T_R состоит из элементов $t^{K,\rho}_{\alpha\beta}(R)$, где $t^{K,\rho}_{\alpha\beta}(R) = 0$, если $\bar{\alpha} \neq \bar{\beta}$; если же $\bar{\alpha} = \bar{\beta}$, то $t^{K,\rho}_{\alpha\beta}(R) = J^K_{A,B,\bar{\alpha}}(\rho R)$, где

$$J^K_{A,B,\bar{\alpha}}(\mu) = C_1\int_{-1}^{1} e^{i\mu x}\,\overline{P^A_{M,N,\gamma}(x)}\,P^B_{M,N,\gamma}(x)\,(1-x^2)^{(n-4)/2}\,dx \tag{9}$$

(обозначения те же, что и в формуле (4)). В частности, если все числа в схемах α и β равны нулю, то

$$J^K_{A,B,\bar{\alpha}}(x) = C_2\frac{J_p(x)}{x^p}, \quad p = \frac{n-3}{2}.$$

Функции $J^K_{A,B,\bar{\alpha}}(x)$ также удовлетворяют теореме сложения, частный случай которой (при $n = 4$) установлен в работе [3]. Функции $J^K_{A,B,\bar{\alpha}}(x)$ могут рассматриваться как пределы функций $P^L_{A,B,\bar{\alpha}}(\cos\theta)$, когда $\theta \to 0$ и $m_1 \to \infty$ так, что $\lim \theta m_1 = x$.

К функциям, аналогичным функциям $P^L_{A,B,\bar{\alpha}}(\cos\theta)$, можно прийти при рассмотрении неприводимых унитарных представлений группы линейных преобразований, сохраняющих квадратичную форму $\sum_{k=1}^{n-1} x_k^2 - x_n^2$. При этом

есто дробно-линейной подстановки (2) надо рассматривать дробно-линей-ю подстановку

$$\frac{\operatorname{ch}\lambda\cos\theta+\operatorname{sh}\lambda}{\operatorname{sh}\lambda\cos\theta+\operatorname{ch}\lambda},$$

m_1 принимает некоторые комплексные значения. Соответственно этому меняется форма теоремы сложения. В частности, таким путем вычисляются матричные элементы неприводимых унитарных представлений уппы Лоренца.

Поступило
27 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] E. Cartan, Bull. Soc. Math. de France, **41** (1913). [2] И. М. Гельфанд, Л. Цетлин, ДАН, **71**, № 6 (1950). [3] Н. Я. Виленкин, Э. Л. Аким, А. Левин, ДАН, **112**, № 6 (1957).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИКА

Р. Х. ЗАРИПОВ

СИСТЕМЫ ОСОБЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА СВЕРТКИ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 6 X 1956)

В работах [1–3] на основе теории краевых задач аналитических функций изучены уравнения типа свертки с одной неизвестной функцией. В настоящей заметке рассматриваются системы особых уравнений типа свертки аналогичного характера. Запишем их в векторном виде:

$$f(x)+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^\infty k_1(x-t)f(t)\,dt+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^0 k_2(x-t)f(t)\,dt=g(x),\qquad (A)$$
$$-\infty<x<\infty;$$

$$f(x)+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^\infty k_1(x-t)f(t)\,dt=g(x),\quad x>0;\qquad (Б)$$

$$f(x)+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^\infty k_2(x-t)f(t)\,dt=g(x),\quad x<0,$$

где $k_\alpha(x)=\|k_{ij}^\alpha(x)\|$, $\alpha=1,2$, — матрицы; $g(x)$, $f(x)$ — векторы порядка n.

В качестве аппарата исследования указанных систем используются преобразование Фурье ([3, 4]), теория функций от матриц ([5, 6]), теория краевых задач аналитических функций для системы неизвестных функций ([7]). Будем обозначать прописной буквой преобразование функции, которая обозначена соответственной строчной буквой. Значками $+$, $-$ обозначаем функции со свойствами: $f_+(x)\equiv 0$ при $x<0$; $f_-(x)\equiv 0$ при $x>0$; их преобразования обозначаем F^+ и F^-. Используется следующее свойство преобразования Фурье; если $k(x)e^{-yx}\in L(-\infty,\ \infty)$ или $L^2(-\infty,\ \infty)$, $a\leqslant y\leqslant b$, то $K(z)$ является функцией, аналитической в полосе $a<\operatorname{Im} z<b$.

§ 1. Предполагаем, что ядра уравнений $k_{ij}^\alpha(x)\in L(-\infty,\ \infty)$ а $g_i(x)\in L^2(-\infty,\ \infty)$. Решения $f_i(x)$ ищем в классе $L^2(-\infty,\ \infty)$.

Путем преобразования по Фурье системы (А) приходим к краевой задаче Римана для системы функций с граничным условием:

$$F^+(x)=A(x)F^-(x)+[E+K_1(x)]^{-1}\cdot G(x),\quad -\infty<x<\infty,\qquad (1)$$

где $A(x)=[E+K_1(x)]^{-1}\cdot[E+K_2(x)]$. Решение последней в общем случае может быть получено лишь из системы интегральных уравнений Фредгольма. Поэтому представляет интерес рассмотрение таких случаев системы (А), когда решение может быть получено эффективно (при помощи конечного числа линейных преобразований ([5]) или в квадратурах).

1°. В работе ([5]) показано, что если $A(x)$ — функционально-коммутативная матрица *, то каноническая матрица решений задачи (1) может

* Функционально-коммутативная матрица определяется равенством $A(x_1)A(x_2)=A(x_2)A(x_1)$, где x_1, x_2 — любые два значения аргумента ([6]).

ыть получена в квадратурах. Легко показать, что если $A(x)$ — функционально-коммутативная матрица, то ее преобразование Фурье — атрица $a(x)$, и матрицы $A(x) \pm E$, $[A(x)]^{-1}$ также будут функционально-коммутативными.

Исходя из этого, можно показать, что необходимым и достаточным словием функциональной коммутативности матрицы $A(x)$ является ункциональная коммутативность матриц

$$[k_2(x) - k_1(x)] + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} r_1(x-t)\,[k_2(t) - k_1(t)]\,dt; \tag{2}$$

$$[k_2(x) - k_1(x)] + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} r_2(x-t)\,[k_2(t) - k_1(t)]\,dt, \tag{3}$$

де матрица $r_\alpha(x)$ — решение уравнения

$$r_\alpha(x) + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} r_\alpha(x-t)\,k_\alpha(t)\,dt = -k_\alpha(x), \quad \alpha = 1,\ 2.$$

Условия (2) и (3) равносильны.

Система уравнений (Б) рассматривается аналогично.

2°. В случае, если

$$k_\alpha(x) = \begin{cases} k'_\alpha(x), & x > 0, \\ k''_\alpha(x), & x < 0, \end{cases} \qquad \alpha = 1,\ 2, \tag{4}$$

истема (А) принимает вид

$$\begin{aligned} &f(x) + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x k'_1(x-t)\,f(t)\,dt + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} k''_1(x-t)\,f(t)\,dt + \\ &+ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{0} k'_2(x-t)\,f(t)\,dt = g(x), \quad x > 0; \\ &f(x) + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} k''_1(x-t)\,f(t)\,dt + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} k'_2(x-t)\,f(t)\,dt + \\ &+ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{0} k''_2(x-t)\,f(t)\,dt = g(x), \quad x < 0, \end{aligned} \tag{5}$$

разрешима в квадратурах, когда:

а) $k''_1(x) \equiv k'_2(x) \equiv 0$; б) $k''_1(x) \equiv k''_2(x) \equiv 0$; в) $k'_2(x) \equiv k'_2(x) \equiv 0$, (6)

ри дополнительном условии:

особенности матриц

а) $E + K'_1(z)$ в D^+, $E + K''_2(z)$ в D^- в случае (6а);

особенности и аналитичности матриц (7)

б) $[E + K'_1(z)]^{-1} \cdot [E + K'_2(z)]$ в D^+ в случае (6б);

в) $[E + K''_1(z)]^{-1} \cdot [E + K''_2(z)]$ в D^- в случае (6в).

Если дополнительные условия (7) не выполняются, то решение уравнения (5) при наличии (6) получается с помощью конечного числа инейных преобразований.

«Парное» уравнение (Б) при предположении (4) имеет вид:

$$f(x)+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^\infty k_1''(x-t)f(t)\,dt+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^x k_1'(x-t)f(t)\,dt=g(x),\quad x>0;$$

$$f(x)+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{-\infty}^x k_2'(x-t)f(x)\,dt+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^\infty k_2''(x-t)f(t)\,dt=g(x),\quad x<0,$$

и разрешимо в квадратурах, когда:

а) $k_1'(x)\equiv k_2''(x)\equiv 0$; б) $k_1'(x)\equiv k_2'(x)\equiv 0$; в) $k_1''(x)\equiv k_2''(x)\equiv 0$,

при дополнительном условии:

неособенности матриц

а) $E+K_2'(z)$ в D^+, $E+K_1''(z)$ в D^- в случае (9а);

неособенности и аналитичности матриц

б) $[E+K_2''(z)][E+K_1''(z)]^{-1}$ в D^- в случае (9б);

в) $[E+K_2'(z)][E+K_1'(z)]^{-1}$ в D^+ в случае (9в).

Если же условия (10) не выполняются, то решение уравнения (8) (9) может быть построено при помощи конечного числа линейных пре образований.

§ 2. Предполагаем, что ядра систем таковы ($k(x)=k_+(x)-k_-(x)$):

$$k_{ij+}^{\alpha}(x)e^{-yx}\in L(-\infty,\ \infty),\quad y\geqslant a_{ij}^{\alpha};$$
$$k_{ij-}^{\alpha}(x)e^{-yx}\in L(-\infty,\ \infty),\quad y\leqslant b_{ij}^{\alpha}.$$

Система (А). Решения $f_j(x)$ системы ищем в классах:

$$f_{j+}(x)e^{-yx}\in L^2(-\infty,\ \infty),\quad y\geqslant \min(b_{1j}^1,\ \ldots,\ b_{nj}^1)\equiv\alpha_j;$$
$$f_{j-}(x)e^{-yx}\in L^2(-\infty,\ \infty),\quad y\leqslant \max(a_{1j}^2,\ \ldots,\ a_{nj}^2)\equiv\beta_j.$$

Свободные члены могут принадлежать следующим максимально ши роким допустимым классам:

$$g_{i+}(x)e^{-yx}\in L^2(-\infty,\ \infty),$$
$$y\geqslant \max(a_{i1}^1,\ \ldots,\ a_{in}^1,\ a_{i1}^2,\ \ldots,\ a_{in}^2,\ \alpha_1,\ \ldots,\ \alpha_n)\equiv a_i;$$
$$g_{i-}(x)e^{-yx}\in L^2(-\infty,\ \infty),$$
$$y\leqslant \min(b_{i1}^1,\ \ldots,\ b_{in}^1,\ b_{i1}^2,\ \ldots,\ b_{in}^2,\ \beta_1,\ \ldots,\ \beta_n)\equiv b_i.$$

Преобразование Фурье системы (А) приводит к краевой задаче спе циального вида, граничное условие которой задано в общем случае на $r\leqslant 2k+2$ ($k\leqslant n$) прямых, где $2k$ равно числу различных постоянных α_j, β_j; $j=1,\ 2,\ \ldots,\ n$.

Частные случаи.

а) Если все элементы $k_{ij}^{\alpha}(x)$ i-й строки матрицы $k_\alpha(x)$ принадлежа одному и тому же классу, т. е. $a_{ij}^{\alpha}=a_i^{\alpha}$, $b_{ij}^{\alpha}=b_i^{\alpha}$; $i,j=1,\ 2,\ \ldots,\ n$, т классы решений $f_j(x)$ не зависят от номера j, т. е. $\alpha_j\equiv\alpha$, $\beta_j=\beta$ $j=1,\ 2,\ \ldots,\ n$. В этом случае $2k\leqslant 2$ и $r\leqslant 4$.

б) Если все элементы $k_{ij}^{\alpha}(x)$ j-го столбца матрицы $k_\alpha(x)$ принадле жат одному и тому же классу, т. е. $a_{ij}^{\alpha}=a_j^{\alpha}$, $b_{ij}^{\alpha}=b_j^{\alpha}$, то классы свобод ных членов — функций $g_i(x)$ не зависят от номера i уравнения, т. е $a_i=a$, $b_i=b$, $i=1,\ \ldots,\ n$. В этом случае $k\leqslant n$ и $r\leqslant 2n+2$.

Решение полученной задачи в общем виде неизвестно. В случаях когда предполагается аналитическая продолжимость матриц $K_\alpha^+(z)$, $K_\alpha^-(z$

векторов $G^+(z)$, $G^-(z)$ внутрь некоторых вектор-полос *, где они имеют роморфный характер, эта задача может быть приведена к «видоизменной» краевой задаче Римана, которая от обычной (7) отличается тем, о решение ее — вектор $\Phi(z)$ включает в себя заданный матричный ожитель вида

$$T(z) \equiv T_p(z) \equiv \prod_{k=1}^{m_p} [T_k^{(p)}(z)]^{\frac{1+\delta_p}{2}} \left\| \left(\frac{z - z_k^{(p)}}{z - iz_p} \right)^{\nu_{kj}^{(p)}} \right\|^{\delta_p},$$

де $\| R_j(z) \|$ — диагональная матрица; $\delta_p = -1, 1$; $p = 0, 1, 2$; $\nu_{kj}^{(p)} \geqslant 0$; $z_k^{(p)} \in D_p$; D_1, D_2, D_0 — соответственно, области $\operatorname{Im} z > \beta$, $\operatorname{Im} z < \gamma$, $< \operatorname{Im} z < \beta$; $z_1 = z_2 = i\mu \in D_0$, $z_0 = -i\lambda \in D_2$ и $-\lambda < \min \operatorname{Im} z_k^{(2)}$ $= 1, 2, \ldots, m_2$); $T_k^{(p)}(z)$ — аналитическая в D_p матрица с постоянным ределителем, отличным от нуля, имеющая на бесконечности нулевой рядок. Вектор $\Phi(z)$ — голоморфный всюду в области $D_0 + D_1 + D_2$ за ключением точек $z_k^{(p)}$ (при $\delta_p = -1$), где он имеет мероморфный характер.

Путем введения нового неизвестного вектора $\widetilde{\Phi}(z)$: $\Phi(z) = T(z)\widetilde{\Phi}(z)$ идоизмененная» задача сводится к обычной задаче Римана. В «видозмененной» задаче нули составляющих вектора $\Phi(z)$ уменьшают, а олюсы увеличивают суммарный индекс задачи.

Система (Б). Разыскиваем решения $f_j(x)$ системы в классах

$$f_{j+}(x) e^{-yx} \in L^2(-\infty, \infty),$$
$$y \geqslant \min(b_{1j}^1, \ldots, b_{nj}^1, b_{1j}^2, \ldots, b_{nj}^2) \equiv \alpha_j;$$
$$f_{j-}(x) e^{-yx} \in L^2(-\infty, \infty),$$
$$y \leqslant \max(a_{1j}^1, \ldots, a_{nj}^1, a_{1j}^2, \ldots, a_{nj}^2) \equiv \beta_j.$$

Допустимые классы свободных членов:

$$g_{i+}(x) e^{-yx} \in L^2(-\infty, \infty),$$
$$y \geqslant \max(a_{i1}^1, \ldots, a_{in}^1, \alpha_1, \ldots, \alpha_n) \equiv a_i;$$
$$g_{i-}(x) e^{-yx} \in L^2(-\infty, \infty),$$
$$y \leqslant \min(b_{i1}^2, \ldots, a_{in}^2, \beta_1, \ldots, \beta_n) \equiv b_i.$$

Несколько видоизменяя метод исследования, получаем для системы) результаты, аналогичные полученным выше для системы (А).

Считаю своим приятным долгом выразить глубокую благодарность Д. Гахову за руководство настоящей работой.

Ростовский на Дону государственный университет им. В. М. Молотова

Поступило 18 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. М. Рапопорт, Сборн. тр. Инст. матем. АН УССР, **12** (1949). [2] Ф. Д. Гахов, Ю. И. Черский, Уч. зап. Каз. гос. унив., **114**, 8, 21 (1954). [3] Ф. Д. Гахов, Ю. И. Черский, Изв. АН СССР, сер. матем., **20**, 1, 33 (1956). [4] Е. Титчмарш, Введение в теорию интегралов Фурье, 1948. [5] Ф. Д. Гахов, Усп. матем. наук, **4** (50), 3 (1952). [6] В. В. Морозов, Уч. зап. Каз. гос. унив., **112**, 9, 17 (1952). [7] Н. П. Векуа, Системы сингулярных интегральных уравнений, 1950.

* Если элементы i-й строки матрицы $K(z)$ заданы в области D_i, будем говорить, о матрица $K(z)$ задана в вектор-области $D = \{D_1, D_2, \ldots, D_n\}$.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИК

Е. И. КИМ

РЕШЕНИЕ ОДНОГО КЛАССА СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С КОНТУРНЫМ ИНТЕГРАЛОМ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 5 X 1956)

§ 1. Рассмотрим сингулярные интегральные уравнения вида

$$\psi(s, t) = \lambda \int_0^t d\tau \int_C K_0(r_{pp_1}^2,\ t-\tau)\,\psi(s_1, \tau)\,ds_1 + f(s, t) \qquad (t > 0),$$

где r_{pp_1} — расстояние между точками p и p_1 с координатами s и s_1 в д
говой системе координат,

$$K_0(r_{pp_1}^2, t-\tau) = \frac{1}{(t-\tau)^{3/2}} \int_0^\infty \rho(z) \left[1 - \frac{r_{pp_1}^2}{2a^2(z)(t-\tau)}\right] \exp\left[-\frac{r_{pp_1}^2}{4a^2(z)(t-\tau)}\right] dz,$$

$$\rho(z) = (z^2 + a_1^2)^{-3/2} (z^2 + a_2^2)^{-1/2}, \quad a^2(z) = a_2^2 (z^2 + a_1^2)/(z^2 + a_2^2).$$

В этом уравнении функция $f(s, t)$ имеет производную с ограниченно
вариацией, причем

$$t^\sigma |f(s, t)|,\ \bigvee (t^\sigma \partial f(s, t)/\partial s) \leqslant M \quad (0 \leqslant \sigma < 1).$$

В настоящей работе мы покажем, что уравнение (1) для любого λ
имеет решения в классе функций, удовлетворяющих неравенству

$$|\psi(s_1, t) - \psi(s_2, t)| \leqslant M t^{-\sigma} |s_1 - s_2|^\alpha$$

(σ и α независимо друг от друга удовлетворяют неравенствам $0 \leqslant \sigma <$
$0 < \alpha \leqslant 1$), а существует только при $\lambda < \lambda_0$, где λ_0 — вполне определенно
число. Следовательно, на основании теоремы Абеля к уравнению (1) нельз
применить метод последовательных приближений, так как этот мето
не дает полного решения.

§ 2. Исследуем уравнение (1). В силу периодичности функций r_{pp_1}
$f(s, t)$ относительно s с периодом $2l$ (длина дуги кривой C) искома
функция $\psi(s, t)$ должна быть периодической с периодом $2l$. Поэтом
решение представимо в виде ряда Фурье, если оно существует. Если ря
Фурье функции $\psi(s, t)$ расходится, то решение уравнения (1) не може
существовать в классе функций, удовлетворяющих неравенству (5).

Пусть

$$\psi(s, t) = \frac{\psi_0(s, t)}{2} + \sum_{k=1}^\infty \left(\psi_k^{(1)}(t) \cos\frac{k\pi s}{l} + \psi_k^{(2)}(t) \sin\frac{k\pi s}{l}\right).$$

На основании (4) функция $f(s, t)$ также разлагается в ряд Фурь

$$f(s, t) = \frac{f_0(t)}{2} + \sum_{k=1}^\infty \left(f_k^{(1)}(t) \cos\frac{k\pi s}{l} + f_k^{(2)}(t) \sin\frac{k\pi s}{l}\right),$$

ричем

$$|f_k^{(i)}(t)| \leqslant M / k^2 t^{\sigma} \quad (i = 1, 2). \tag{8}$$

Легко можно показать, что если кривая C достаточно гладка, то

$$r_{pp_1}^2 = (s - s_1)^2 \varphi(s, s_1), \tag{9}$$

де $\varphi(s, s_1)$ — известная функция, зависящая от вида кривой C.

Умножим функцию $\frac{1}{l} \cos \frac{n\pi s}{l}$ на обе части уравнения (1) и проинтегрируем по контуру C. Тогда

$$\psi_n^{(1)}(t) = \lambda \int_0^t d\tau \int_C \left\{ \frac{1}{l} \int_C K_0 ((s-s_1)^2 \varphi(s, s_1), t-\tau) \cos \frac{n\pi s}{l} \, ds \right\} \psi(s_1, \tau) \, ds_1 + f_n^{(1)}(t).$$

Произведя замену $s - s_1 = s'$, получим

$$\psi_n^{(1)}(t) =$$

$$= \lambda \int_0^t d\tau \int_C \left\{ \frac{1}{l} \int_{-l}^{+l} K_0 (s'^2 \varphi(s' + s_1, s_1), t - \tau) \cos \frac{n\pi s'}{l} \, ds' \right\} \psi(s_1, \tau) \cos \frac{n\pi s_1}{l} \, ds_1 +$$

$$+ \lambda \int_0^t d\tau \int_C \left\{ \frac{1}{l} \int_{-l}^{+l} K_0 (s'^2 \varphi(s' + s_1, s_1), t - \tau) \sin \frac{n\pi s'}{l} \, ds' \right\} \psi(s_1, \tau) \sin \frac{n\pi s_1}{l} \, ds_1 +$$

$$+ f_n^{(1)}(t). \tag{10}$$

Внутренние интегралы не вычисляются в явном виде. Поэтому выделим из этих интегралов главные части, а оставшиеся оценим. В результате будем иметь

$$\psi_n^{(1)}(t) = \lambda \int_0^t \left\{ 4 \sqrt{\pi} \lambda_n \int_0^{\infty} \rho(z) a^3(z) \exp[-\lambda_n^2 a^2(z)(t-\tau)] \, dz \right\} \psi_n^{(1)}(\tau) \, d\tau +$$

$$+ \int_0^t d\tau \int_C \Phi_n^{(1)}(s_1, t-\tau) \psi(s_1, \tau) \, ds_1 + f_n^{(1)}(t). \tag{11}$$

Совершенно аналогично получим:

$$\psi_n^{(2)}(t) = \lambda \int_0^t \left\{ 4 \sqrt{\pi} \lambda_n \int_0^{\infty} \rho(z) a^3(z) \exp[-\lambda_n^2 a^2(z)(t-\tau)] \, dz \right\} \psi_n^{(2)}(\tau) \, d\tau +$$

$$+ \int_0^t d\tau \int_C \Phi_n^{(2)}(s_1, t-\tau) \psi(s_1, \tau) \, ds_1 + f_n^{(2)}(t), \tag{12}$$

где $\lambda_n = n\pi / l$, $\Phi_n^{(i)}(s_1, t-\tau)$ удовлетворяют неравенству

$$|\Phi_n^{(i)}(s_1, t-\tau)| \leqslant M n^{-3/2} (t-\tau)^{-3/4} \quad (i = 1, 2). \tag{13}$$

Уравнения (11) и (12) назовем сопутствующими сингулярному уравнению (1).

§ 3. Рассмотрим теперь интегральное уравнение

$$\psi_n(t) = \lambda \int_0^t K_n^0(t-\tau) \psi_n(\tau) \, d\tau + f_n(t), \tag{14}$$

де

$$K_n^{(0)}(t-\tau) = 4 \sqrt{\pi} \lambda_n \int_0^{\infty} \rho(z) a^3(z) \exp[-\lambda_n^2 a^2(z)(t-\tau)] \, dz. \tag{15}$$

Уравнение (14) получается из уравнений (11) и (12) путем отбрасывания вторых слагаемых. Назовем его характеристическим уравнением сопутствующих.

Применяя операционный метод к уравнению (14), получаем решение в явном виде

$$\psi_n(t) = f_n(t) + \lambda \int_0^t \Gamma_n(t-\tau;\lambda) f_n(\tau)\, d\tau, \tag{16}$$

где

$$\Gamma_n(t-\tau;\lambda) = \frac{2\pi^{3/2}(|\nu|-\nu)}{(\nu^2-1)(a_1^2\nu^2-a_2^2)}\lambda_n^2 \exp[-\lambda_n^2 d_0(t-\tau)] +$$

$$+ 4\sqrt{\pi}\, a_2^3 \mu^2 \lambda_n \int_0^\infty \frac{z^2}{(z^2+a_2^2)^2(\nu^2 z^2+a_2^2)} \exp[-\lambda_n^2 a^2(z)(t-\tau)]\, dz, \tag{17}$$

$$d_0 = (a_1^2\nu^2 - a_2^2)/(\nu^2-1), \quad \nu = \mu - 1, \quad \mu = (a_1^2 - a_2^2)/2\pi^{-3/2}\lambda. \tag{18}$$

Очевидно, что наше решение имеет смысл, если $\nu \neq \pm 1$, $\nu \neq \pm a_2/a_1$; но непосредственной проверкой можно установить, что при $\nu = 1$, $\nu = \pm a_2/a_1$ решение можно получить из (16) путем предельного перехода, если же $\nu = -1$, то из (18) следует, что $\lambda = \infty$. Поэтому последний случай исключается из рассмотрения.

Легко проверить, что резольвента $\Gamma_n(t-\tau;\lambda)$ удовлетворяет уравнениям:

$$\Gamma_n(t-\tau;\lambda) = K_n^0(t-\tau) + \lambda \int_\tau^t \Gamma_n(t-t_1;\lambda) K_n^0(t_1-\tau) dt_1, \tag{19}$$

$$\Gamma_n(t-\tau;\lambda) = K_n^0(t-\tau) + \lambda \int_0^t K_n^0(t-t_1)\Gamma_n(t_1-\tau;\lambda)\, dt_1. \tag{20}$$

Для дальнейшего введем операторы

$$B_n\psi(t) = \psi(t) - \lambda \int_0^t K_n^0(t-\tau)\psi(\tau)\, d\tau, \tag{21}$$

$$B^{-1}\psi(t) = \psi(t) + \lambda \int_0^t \Gamma_n(t-\tau;\lambda)\psi(\tau)\, d\tau. \tag{22}$$

На основании формул (19) и (20) эти операторы обладают следующими свойствами:

$$BB^{-1}\psi(t) = B^{-1}B\psi(t) = \psi(t). \tag{23}$$

Из этих равенств непосредственно вытекает, что уравнения

$$B_n\psi(t) = 0, \qquad B_n^{-1}\psi(t) = 0 \tag{24}$$

имеют только тривиальное решение. Следовательно, равенства (14) и (16) эквивалентны.

§ 4. Уравнения (11) и (12) перепишем с помощью операторов (21) и (22):

$$B_n\psi_n^{(1)}(t) = \int_0^t d\tau \int_C \Phi_n^{(1)}(s_1, t-\tau)\psi(s_1,\tau)\, ds_1 + f_n^{(1)}(t), \tag{11_1}$$

$$B_n\psi_n^{(2)}(t) = \int_0^t d\tau \int_C \Phi_n^{(2)}(s_1, t-\tau)\psi(s_1,\tau)\, ds_1 + f_n^{(2)}(t). \tag{12_1}$$

Применяя к этим равенствам оператор B_n^{-1}, на основании (23) получаем

$$\psi_n^{(1)}(t) = \int_0^t d\tau \int_C B_n^{-1} \Phi_n^{(1)}(s_1, t-\tau)\, \psi(s_1, \tau)\, ds_1 + B_n^{-1} f_n^{(1)}(t), \tag{25}$$

$$\psi_n^{(2)}(t) = \int_0^t d\tau \int_C B_n^{-1} \Phi_n^{(2)}(s_1, t-\tau)\, \psi(s_1, \tau)\, ds_1 + B_n^{-1} f_n^{(2)}(t). \tag{26}$$

Очевидно, что эти равенства эквивалентны равенствам (11) и (12). Подставляя (25) и (26) в ряд (6) и предполагая, что полученный ряд сходится равномерно, получим

$$\psi(s, t) = \int_0^t d\tau \int_C K(s, s_1, t-\tau)\, \psi(s_1, \tau)\, ds_1 + f_1(s, t), \tag{27}$$

где

$$K(s, s_1, t-\tau) = \frac{1}{2}\Phi_0(t) + \sum_{n=1}^{\infty}\left[B_n^{-1}\Phi_n^{(1)}(s_1, t-\tau)\cos\frac{n\pi s}{l} + \right.$$
$$\left. + B_n^{-1}\Phi_n^{(2)}(s_1, t-\tau)\sin\frac{n\pi s}{l}\right], \tag{28}$$

$$f_1(s, t) = \frac{1}{2} f_0(t) + \sum_{n=1}^{\infty}\left[B_n^{-1} f_n^{(1)}(t)\cos\frac{n\pi s}{l} + B_n^{-1} f_n^{(2)}(t)\sin\frac{n\pi s}{l}\right]. \tag{29}$$

Если $d_0 \leqslant 0$ и $\nu < 0$, то оператор B_n^{-1} растет экспоненциально или как n^2 при возрастании n, и в этом случае ряды (28) и (29) расходятся. Для того чтобы эти ряды сходились равномерно, необходимо и достаточно, чтобы $d_0 > 0$ или $\nu \geqslant 0$. Переведя эти условия на λ, мы имеем:

$$\lambda < a_1(a_1 + a_2)/2\pi^{3/2} = \lambda_0. \tag{30}$$

На основании (30) и (13)

$$|K(s, s_1, t-\tau)| \leqslant M_1 (t-\tau)^{-3/4}, \tag{31}$$

$$|K(s', s_1, t-\tau) - K(s'', s_1, t-\tau)| \leqslant M_1 (t-\tau)^{-3/4} |s' - s''|^{\alpha} \quad (0 < \alpha < 1/2), \tag{32}$$

на основании (8)

$$|f_1(s, t)| \leqslant M_2 t^{-\sigma}, \; |f_1(s', t) - f_1(s'', t)| \leqslant M_2 t^{-\sigma} |s' - s''|^{\alpha_1} \; (0 < \alpha_1 < 1). \tag{33}$$

Интегральное уравнение (27) можно уже интегрировать методом последовательных приближений, и его решение будет удовлетворять условию (5).

Харьковский политехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
4 X 1956

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИК

В. Б. ЛИДСКИЙ

УСЛОВИЯ ПОЛНОЙ НЕПРЕРЫВНОСТИ РЕЗОЛЬВЕНТЫ НЕСАМОСОПРЯЖЕННОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 27 IX 1956)

Рассматривается дифференциальное уравнение

$$-y'' + p(x)\,y = \lambda y \qquad (1$$

с комплексной функцией $p(x)$. Предполагается, что $p(x)$ имеет в $p(x) = q(x) + i\,r(x)$, где $q(x)$ и $r(x)$ — вещественные функции, суммиру мые и ограниченные в каждом конечном интервале вещественной ос Наряду с уравнением (1) рассматривается связанный с ним оператор

$$Ly = -y'' + p(x)\,y, \qquad (2$$

действующий в гильбертовом пространстве $L_2(-\infty, +\infty)$. Облас определения D оператора L составляют функции $y(x) \in L_2(-\infty, +\infty$ абсолютно непрерывные в каждом конечном интервале вместе со сво производной и такие, что

$$-y'' + p(x)\,y \in L_2(-\infty, +\infty).$$

В настоящей работе даются условия, накладываемые на $p(x)$, п которых оператор L обладает вполне непрерывной резольвентой и, сл довательно, дискретным спектром.

В случае вещественной и ограниченной снизу функции $p(x)$ необх димое и достаточное условие полной непрерывности резольвенты сам сопряженного оператора (2) было дано А. М. Молчановым в его ди сертации ([1]). Отметим, также, что по характеру рассматриваемых вопрос настоящая работа примыкает к статье М. А. Наймарка ([2]). Перейдем изложению результатов.

Теорема 1. *Пусть функция $q(x)$, являющаяся вещественной част $p(x)$, удовлетворяет условию*

$$\lim_{|x|\to\infty} q(x) = +\infty. \qquad (3$$

Тогда, какова бы ни была функция $r(x)$, являющаяся мнимой част $p(x)$, оператор $Ly = -y'' + p(x)\,y$ имеет вполне непрерывную резольвент а стало быть, дискретный спектр.

Доказательство. Выберем вещественное значение парамет $\lambda = \lambda_0$, при котором $q(x) - \lambda_0 \geqslant 1$ $(-\infty < x < +\infty)$. С помощью п строений, близких к тем, которые проделал Г. Вейль в работе ([3]) случае самосопряженной задачи, можно показать, что уравнение (1) п $\lambda = \lambda_0$ имеет два линейно-независимых решения $\psi_1(x)$ и $\psi_2(x)$, принадл жащих соответственно $L_2(0, +\infty)$ и $L_2(-\infty, 0)$. Используя эти реш ния, можно построить ограниченный интегральный оператор, обратны к $L - \lambda_0 E$. Обозначим его, как обычно, через R_{λ_0} и покажем, ч R_{λ_0} — вполне непрерывный оператор. Для этого докажем, что мн жество функций $\{y\}$: $y = R_{\lambda_0} f$, где $\|f\| \leqslant 1$, компактно в $L_2(-\infty, +\infty$ По определению R_{λ_0} имеем: $-y'' + (q(x) + i\,r(x))\,y - \lambda_0 y = f$. Умножи

соотношение на $\overline{y}(x)$, возьмем интегралы от обеих частей в пределах от $-\infty$ до $+\infty$ и приравняем вещественные части. В результате придем к равенству

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |y'|^2 dx + \int_{-\infty}^{+\infty} (q(x) - \lambda_0) |y|^2 dx = \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{+\infty} f\overline{y}\, dx. \tag{4}$$

Положив в правую часть этой формулы $R_{\lambda_0} f$ вместо y и оценивая ее по неравенству Коши — Буняковского, получим

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (q(x) - \lambda_0) |y|^2 dx \leqslant \| R_{\lambda_0} \|. \tag{5}$$

Это неравенство справедливо для всех функций множества $\{y\}$. Пусть теперь задано $\varepsilon > 0$; выберем столь большое N, чтобы для $|x| \geqslant N$ выполнялось неравенство $q(x) - \lambda_0 \geqslant 2 \| R_{\lambda_0} \| \varepsilon^{-1}$. Из формулы (5) тогда следует, что

$$\int_{|x| \geqslant N} |y|^2 dx \leqslant \frac{\varepsilon}{2}. \tag{6}$$

Заметим теперь, что функции $\{y\}$, рассмотренные на конечном интервале $[-N, N]$, образуют компактное семейство. Это следует, например, из леммы, доказанной в работе [4] *. Выбрав на интервале $[-N, N]$ конечную $\varepsilon/2$-сеть для функций $\{y\}$, продолжим каждую функцию сети нулем на всю ось. В силу (6) мы получим конечную ε-сеть для множества $\{y\}$ на всей оси. Так как ε произвольно, то множество $\{y\}$ компактно. Следовательно, оператор R_{λ_0} вполне непрерывен. Из тождества $R_\lambda - R_{\lambda_0} = (\lambda - \lambda_0) R_\lambda R_{\lambda_0}$ тогда вытекает, что резольвента вполне непрерывна для всех λ, для которых она определена. Теорема доказана.

Аналогично теореме 1 с некоторыми разве лишь техническими усложнениями доказывается теорема 2.

Теорема 2. *Пусть функция $r(x)$, являющаяся мнимой частью $p(x)$, удовлетворяет условию* $\lim\limits_{|x| \to \infty} r(x) = +\infty$ (*или* $-\infty$).

Тогда, какова бы ни была вещественная часть $p(x)$, оператор

$$Ly = -y'' + p(x) y$$

имеет вполне непрерывную резольвенту и, следовательно, дискретный спектр.

Теорема 2 нуждается в пояснении. Дело в том, что если на вещественную часть $p(x)$ не накладывать никаких ограничений, то при некоторых $q(x)$ все решения уравнения (1) при всех λ могут принадлежать $L_2(-\infty, +\infty)$ **. В этом случае под оператором L понимается оператор, действующий не на всем многообразии D, а на некотором его подмножестве функций, удовлетворяющих на бесконечности определенным граничным условиям (см. по этому поводу [2]).

В заключение для некоторого широкого класса функций $p(x)$ дадим необходимое и достаточное условие полной непрерывности резольвенты оператора (2):

---

* Компактность семейства $\{y\}$ на интервале $[-N, N]$ в условиях настоящей теоремы может быть установлена совсем просто на основании неравенства $\int\limits_{-\infty}^{+\infty} |y'|^2 dx < C$, которое легко следует из (4). Мы намеренно ссылаемся на более общее утверждение, чтобы по приводимой схеме можно было восстановить доказательство формулируемой ниже теоремы 2.

** Подчеркнем, что в условиях теоремы 1 ($q(x)$ ограничена снизу) это невозможно.

Теорема 3. *Пусть функция $q(x)$ ограничена снизу, а функция $r(x)$ полуограничена* *.

Тогда для полной непрерывности резольвенты оператора

$$Ly = -y'' + (q(x) + ir(x))\,y$$

необходимо и достаточно, чтобы для любой последовательности непересекающихся интервалов $\{D_n\}$ одинаковой длины

$$\int_{D_n} (q(x) + |r(x)|)\,dx \to \infty,$$

когда интервал уходит в бесконечность **.

Для определенности будем считать $r(x)$ ограниченной снизу. Примем также, не нарушая общности, что $q(x) \geqslant 1$ и $r(x) \geqslant 1$. При этом, как мы уже указывали, оператор L имеет ограниченный обратный L^{-1}. Остановимся сначала на доказательстве достаточности условия теоремы. Обозначим через l множество функций из D, равных нулю вне конечного интервала. Можно доказать, что при условии $q(x) \geqslant 1$ множество Lu, где $u \in l$, всюду плотно в $L_2(-\infty, +\infty)$. Имея в виду в дальнейшем воспользоваться этим замечанием, представим Lu в форме

$$Lu = -u'' + (q(x) + r(x))\,u + (i-1)\,r(x)\,u = Au + (i-1)\,ru. \qquad (7)$$

Через A мы обозначили самосопряженный оператор $-d^2/dx^2 + q(x) + r(x)$, который, в силу положительности функции $q(x) + r(x)$, является положительно-определенным Отметим, здесь же, что, согласно теореме А. М. Молчанова ([1], стр. 175), оператор A имеет вполне непрерывный обратный A^{-1}. Формулу (7) преобразуем далее так:

$$Lu = A^{1/2}(E + (i-1)\,A^{-1/2} r A^{-1/2})\,A^{1/2}u. \qquad (8)$$

Нетрудно проверить, что все операции в правой части этой формулы последовательно выполнимы. Оператор, применяемый к функции u в правой части формулы (8), имеет вполне непрерывный обратный. Действительно, оператор $A^{-1/2} r A^{-1/2}$ является ограниченным самосопряженным ***. Этот факт можно доказать аналогично лемме 1 нашей работы ([5]). Так как кроме того $\operatorname{Im}(i-1)^{-1} \neq 0$, то оператор, стоящий в круглых скобках, имеет ограниченный обратный. С другой стороны, оператор $A^{-1/2}$ вполне непрерывен вместе с A^{-1}.

Поэтому и $A^{-1/2}(E + (i-1)\,A^{-1/2} r A^{-1/2})^{-1} A^{-1/2}$ вполне непрерывен. Из формулы (8) следует, что L^{-1}, будучи ограниченным, совпадает на всюду плотном множестве $\{Lu\}$ с вполне непрерывным оператором. Стало быть, L^{-1} вполне непрерывен. Первая часть теоремы доказана.

Наметим теперь в общих чертах доказательство необходимости условия теоремы. Предположим, что L^{-1} вполне непрерывен, а условие теоремы не выполнено. Тогда найдется последовательность непересекающихся интервалов $\{D_n'\}$ одинаковой длины $2d$, для которых

$$\int_{D_n'} (q(x) + |r(x)|)\,dx < C. \qquad (9)$$

Совместим все D_n' с интервалом $[-d, +d]$ и рассмотрим бесконечную совокупность уравнений $-y'' + p_n(x)\,y = 0$, $x \in [-d, d]$, $n = 1, 2, \ldots$; $p_n(x)$ совпадает с $p(x)$ в соответствующих точках D_n'. Можно доказать, что на

---

* То есть ограничена либо снизу, либо сверху.

** Ср. ([1]), стр. 173—175.

*** Строго говоря, этим свойством обладает его замыкание.

$-d, d]$ существует функция $\nu(x)$, интеграл квадрата модуля которой вен единице и которая ортогональна на $[-d, d]$ ко всем решениям ех указанных уравнений. В силу этого каждое уравнение $-y'' + p(x)y = \bar{\nu}(x)$ имеет на интервале $[-d, d]$ отличное от нуля решение (x), обращающееся на концах интервала вместе со своей производной нуль.

Рассмотрим два семейства функций $\{g_n(x)\}$ и $\{f_n(x)\}$, обладающих едующими свойствами: каждая функция с индексом n отлична от нуля шь на D_n'; значения $g_n(x)$ на D_n' совпадают со значениями $\mu_n(x)$ в ответствующих точках интервала $[-d, d]$, а значения $f_n(x)$ на D_n' — значениями $\bar{\nu}(x)$ на $[-d, d]$. Очевидно, что тогда $\| f_n(x) \| = 1$ и $g_n = L^{-1}f_n$. В силу полной непрерывности оператора L^{-1} семейство $\{g_n\}$ мпактно. Отсюда, ввиду ортогональности функций g_n, следует, что $\| g_n \| \to 0$ при $n \to \infty$. Можно доказать, что этот факт влечет за собой вномерную сходимость к нулю функций $\mu_n(x)$ на интервале $[-d, d]$. риняв это во внимание, умножим каждое из тождеств $\bar{\nu}(x) = -\mu_n'' + (q_n + ir_n)\mu_n$ на $e^{im\pi x/d}$ и проинтегрируем от $-d$ до d. Взяв первый из интегралов справа дважды по частям, придем после простых оценок к неравенству

$$\left| \int_{-d}^{+d} \bar{\nu}(x) e^{i\frac{m\pi x}{d}} dx \right| \leqslant \max |\mu_n| \left(\frac{2m^2\pi^2}{d} + \int_{-d}^{+d} q_n dx + \int_{-d}^{+d} |r_n| dx \right).$$

ак как при $n \to \infty$ выражение в скобках остается по предположению раниченным, а $\max |\mu_n| \to 0$, то из данного неравенства следует, что е коэффициенты Фурье функции $\bar{\nu}(x)$ равны нулю. Это, однако, противоречит условию

$$\int_{-d}^{+d} |\nu(x)|^2 dx = 1.$$

олучившееся противоречие доказывает справедливость утверждения оремы.

Московский физико-технический институт

Поступило
25 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. М. Молчанов, Тр. Моск. матем. общ., 2 (1953). [2] М. А. Наймарк, АН, 85, № 1 (1952). [3] Г. Вейль, Math. Ann., 68, 222 (1910). [4] В. Б. Лидский, АН, 112, № 6 (1957). [5] В. Б. Лидский, ДАН, 110, № 2 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИКА

Ю. И. ЛЮБИЧ

НЕКОТОРЫЕ ТАУБЕРОВЫ ТЕОРЕМЫ ДЛЯ ОБОБЩЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ФУРЬЕ

(Представлено академиком С. Н. Бернштейном 5 X 1956)

Обозначим через V_n $(n \geqslant 0)$ класс комплекснозначных функций $\alpha(\lambda)$ ограниченной вариации в любом конечном промежутке, удовлетворяющих условию

$$\alpha_n^*(\lambda) \equiv \overline{\lim_{|a| \to \infty}} |a|^{-n} \operatorname*{Var}_{a}^{a+\lambda} \{\alpha(\mu)\} < \infty. \tag{1}$$

Каждая функция $\alpha(\lambda) \in V_n$ имеет преобразование Бохнера — Стилтьеса порядка * $[n+2]$

$$E_{[n+2]}(x; \alpha) = \int_{\infty}^{-\infty} (i\lambda)^{-[n+2]} \left\{ e^{i\lambda x} - \chi_{-1,1}(\lambda) \sum_{\nu=0}^{[n+1]} \frac{(i\lambda x)^\nu}{\nu!} \right\} d\alpha(\lambda),$$

где $\chi_{a,b}(\lambda)$ — характеристическая функция промежутка $[a, b]$.

Дифференциальные свойства функции $E_{[n+2]}(x; \alpha)$, очевидно, определяются поведением функции $\alpha(\lambda)$ при больших $|\lambda|$. Например, если при $|\lambda| \to \infty$ будет $\alpha(\lambda) = \lambda^{n+1} + O(|\lambda|^{n-1-\varepsilon})$ $(\varepsilon > 0)$, то функция $E_{[n+2]}(x; \alpha)$ обладает абсолютно непрерывной производной любого порядка **, меньшего $[n+1] - n$,

Более труден вопрос о том, какие дополнительные (по сравнению с (1)) заключения о поведении функции $\alpha(\lambda)$ при $|\lambda| \to \infty$ можно сделать, если известно, что функция $E_{[n+2]}(x; \alpha)$ обладает определенными дифференциальными свойствами на всей оси или в некотором конечном интервале. Этот вопрос в связи с исследованием асимптотических свойств спектральных функций дифференциальных операторов рассматривался в ряде работ Б. М. Левитана ([1-3]) и В. А. Марченко ([4]). Ему посвящена и настоящая заметка.

Изучение функций $\alpha(\lambda)$ при $|\lambda| \to \infty$, по существу, состоит в изучении интеграла

$$\int_{-\infty}^{\infty} d\alpha(\lambda). \tag{2}$$

Так как интеграл (2), вообще говоря, является расходящимся, то приходится применять к нему тот или иной метод суммирования, т. е. вместо (2) исследовать асимптотику при $N \to 0$ сходящегося интеграла

$$\int_{-\infty}^{\infty} T(N, \lambda)\, d\alpha(\lambda) \quad (N > 0), \tag{3}$$

---

* $[x]$ — целая часть числа x.

** По поводу определения производных дробных порядков см., например, ([5]), стр. 221—223.

разованного с помощью некоторого ядра $T(N, \lambda)$. Ядро можно взять, пример, равным $(1 - N^2\lambda^2)^k \chi_{-M,M}(\lambda)$ $(k \geqslant 0;\ M = N^{-1})$.

Если в некотором интервале $(-h, h)$ функция $E_{[n+2]}(x; \alpha)$ есть поли-м степени не выше $[n+1]$, то, как показал Б. М. Левитан [3], при $\to 0$

$$\int_{-M}^{M} (1 - N^2\lambda^2)^k \, d\alpha(\lambda) = O(N^{k-n}). \tag{4}$$

едовательно, при $k > n$ существует предел * интеграла (4), что, вообще зоря, неверно при $k < n$. В этом смысле значение $k = n$ является кри-ческим. Критическое значение выделяет из шкалы однотипных методов ммирования метод, наиболее точно соответствующий данной скорости сходимости интеграла (2).

Возникает вопрос, нельзя ли для ядер $T(N, \lambda)$ общего вида ввести раметр, по отношению к которому имело бы смысл говорить о кри-ческом значении.

Если число n — целое, то, как следует из работы В. А. Марченко [4], кого рода параметром служит максимальное число k производных от ра по λ, последняя из которых имеет ограниченную вариацию, и кри-ческим значением будет ** по-прежнему $k = n$. Поэтому, переходя к целым n, естественно ввести в рассмотрение производные дробного по-дка от ядра. Вместе с этим приходится учитывать производные дроб-го порядка функции $E_{[n+2]}(x; \alpha)$.

Результаты, полученные автором, являются обобщением теорем 4.1, 2 [4] на случай нецелых n, k. Возникающие здесь трудности обусловле-ы нелокальным характером операции дифференцирования нецелого по-дка и ее несимметрией относительно перемены знака аргумента.

Ограничимся для простоты формулировки ядрами вида

$$T(N, \lambda) = T(N\lambda), \tag{5}$$

е $T(\lambda)$ — финитная функция. Пусть для определенности $T(\lambda) = 0$ при $| \geqslant 1$.

Будем говорить, что функция $f(x)$, суммируемая в конечном проме-утке $[a, b]$, принадлежит классу $D_s(a, b)$ $(s \geqslant 0)$, если при $s \geqslant 1$ функ-я $f(x)$ имеет в $[a, b]$ абсолютно непрерывную производную порядка $-1]$ и если функция

$$I(x; f) = \frac{1}{\Gamma([s+1]-s)} \int_{-\infty}^{x} (x-t)^{[s]-s} \chi_{a,b}(t) f^{([s])}(t) \, dt$$

солютно непрерывна. При этом суммируемую функцию $f^{(s)}(x) \equiv I'(x; f)$ дем называть производной порядка s от $f(x)$.

Предположим, что:

A. $T(\lambda)$ есть функция ограниченной вариации, принадлежащая вместе функцией $T(-\lambda)$ некоторому классу $D_k(-\lambda_0, 0)$ $(\lambda_0 > 1)$ и непрерыв-я при $k > 0$.

B. $T^{(k)}(\lambda)$, $\{T(-\lambda)\}^{(k)}$ — функции ограниченной вариации $(\lambda \leqslant 0)$.

C. Функция $T(\lambda)$ непрерывна и $[k]$ раз дифференцируема в точке $= 0$.

Теорема 1. *Пусть функция* $E_{[n+2]}(x; \alpha)$ *принадлежит некоторому ассу* $D_p(-h, h)$ $([n+2]-n \leqslant p \leqslant [n+2])$. *Положим*

$$m = [n+2]-p, \quad G(x) = E^{(p)}_{[n+2]}(x; \alpha) \chi_{-h,h}(x).$$

---

* Равенство этого предела нулю здесь несущественно.

** По крайней мере для ядер вида (5).

Тогда

$$\overline{\lim_{N\to 0}} N^{n-k}\left|\int_{-\infty}^{\infty} T(N\lambda)\,d\alpha(\lambda) - \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} T(N\lambda)(i\lambda)^m E_G(\lambda)\,d\lambda\right| \leqslant$$

$$\leqslant C(1+k)^5 v_{n,k} h^{-k} \alpha_n^*\left(\frac{1}{h}\right), \qquad (6)$$

где $E_G(\lambda)$ *— преобразование Фурье функции* $G(x)$; C *— абсолютная константа;* $v_{n,k} = \int_{-\infty}^{0} |\lambda|^n (|dT^{(k)}(\lambda)| + |d_\lambda\{T(-\lambda)\}^{(k)}|)$.

Следующие предложения позволяют придать оценке (6) более простой вид.

Теорема 2. *Если* $m+k+1>n$ *и*

$$\int_{-h}^{h} |x|^{-(m+k+1-n)} |G(x)|\,dx < \infty,$$

то при $N\to 0$

$$Z(N) \equiv \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} T(N\lambda)(i\lambda)^m E_G(\lambda)\,d\lambda =$$

$$= \sum_{\nu=0}^{[k-n]} \frac{T^{(\nu)}(0)(-iN)^\nu}{\nu!\,\Gamma(-m-\nu)} \int_{-h}^{0} \frac{G(x)\,dx}{|x|^{m+\nu+1}} + o(N^{k-n})\ *.$$

Если же $m+k+1\leqslant n$, *то*

$$Z(N) = o(N^{k-n}).$$

Теорема 3. *Пусть в некотором промежутке* $[-\varepsilon,\varepsilon]$ *функция* $G(x)$ *непрерывна и принадлежит классу* $D_k(-\varepsilon,\varepsilon)$. *Если ряд Фурье функции* $G^{(k)}(x)$ *сходится вместе с сопряженным тригонометрическим рядом в точке* $x=0$, *то при* $N\to 0$

$$Z(N) = \sum_{\nu=0}^{[k-n]} \frac{T^{(\nu)}(0)(-iN)^\nu}{\nu!} G^{(m+\nu)}(0) + o(N^{k-n}),$$

где $G^{(m+\nu)}(0)$ *есть* ** *сумма ряда Фурье функции*

$$\frac{d^{[m+\nu+1]}}{dx^{[m+\nu+1]}} \frac{1}{\Gamma([m+1]-m)} \int_{-h}^{x} (x-t)^{[m]-m} G(t)\,dt$$

в точке $x=0$.

В доказательствах теорем 1 и 2 существенную роль играет асимптотическое разложение вырожденной гипергеометрической функции.

Приведем пример, показывающий, что теоремы 1—3 дают возможность обнаружить критическое значение параметра k в случае нецелого n.

Обозначим через $g(x)$ $(-\pi<x<\pi)$ суммируемую функцию, равную нулю в интервалах $(-\pi,\pi/4)$; $(\pi/2,\pi)$ и равную $\sum_{\nu=2}^{\infty} e^{8i\nu x}\ln^{-2}\nu$ в интервале $(\pi/4,\pi/2)$. Обозначим далее через a_ν комплексные коэффициенты Фурье функции $g(x)$ и построим ступенчатую функцию $\alpha(\lambda)$ со скачками в целых точках $\lambda=\nu$, соответственно равными $(i\nu)^n a_\nu$, где n фиксированное число $(0<n<1)$.

---

* Сумму в правой части следует считать равной нулю при $k<n$.

** Существование величин $G^{(m+\nu)}(0)$ устанавливается попутно.

Очевидно, $\alpha(\lambda) \in V_n$, причем $\alpha_n^*(\lambda) \equiv 0$. Непосредственно проверяется, что $E_2(x;\alpha) \in D_{2-n}(-\pi,\pi)$ и что функция $E_2^{(2-n)}(x;\alpha)$ бесконечно дифференцируема в интервале $(-\pi/4, \pi/4)$. Поэтому из теорем 1 и 3 следует существование

$$\lim_{N\to 0} \int_{-M}^{M} (1 - N|\lambda|)^n \, d\alpha(\lambda) \quad (M = N^{-1}).$$

С другой стороны, каково бы ни было k $(0 \leqslant k < n)$, величина

$$\int_{-M}^{M} (1 - N|\lambda|)^k \, d\alpha(\lambda) = \sum_{|\nu|<M} (1 - N|\nu|)^k (i\nu)^n a_\nu$$

не имеет предела при $N \to 0$. В противном случае при $\nu \to \infty$ было бы ([6]), стр. 146, 132)

$$i^n a_\nu + (-i)^n a_{-\nu} = o(\nu^{k-n}),$$

что невозможно, так как

$$a_{2\nu} = \begin{cases} 1/8 \ln^2 \nu & (\nu = 2, 3, 4, \ldots), \\ 0 & (\nu = 1, 0, -1, -2, \ldots). \end{cases}$$

Харьковский политехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
5 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. М. Левитан, Изв. АН СССР, сер. матем., **17**, № 3, 265 (1953). [2] Б. М. Левитан, Матем. сборн., **35** (77), 2, 267 (1954). [3] Б. М. Левитан, Изв. АН СССР, сер. матем., **20**, № 4, 437 (1956). [4] В. А. Марченко, Изв. АН СССР, сер. матем., **19**, № 6, 381 (1955). [5] А. Зигмунд, Тригонометрические ряды, 1939. [6] Г. Харди, Расходящиеся ряды, ИЛ, 1951.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИК

В. М. ЦОДЫКС

О МНОЖЕСТВАХ ТОЧЕК, ГДЕ ПРОИЗВОДНАЯ РАВНА, СООТВЕТСТВЕННО, $+\infty$ И $-\infty$

(Представлено академиком М. В. Келдышем 28 IX 1956)

В работах ([1–4]) была выяснена дескриптивная и метрическая природ каждого из множеств, где производная функции действительного пер менного равна, соответственно, $+\infty$ и $-\infty$. В настоящей заметке крат излагается теорема, решающая и вопрос о взаимном расположении эти множеств.

Теорема. *Для того чтобы множества E^1, E^2 точек оси OX бы множествами всех точек, где производная некоторой конечной в кажд точке функции одного действительного переменного существует и равн соответственно, $+\infty$, $-\infty$, необходимо и достаточно, чтобы:*

1) *E^1, E^2 имели меру нуль и принадлежали классу $F_{\sigma\delta}$;*

2) *существовали два непересекающихся множества H_1, H_2, принадл жащих классу F_σ и таких, что $E^1 \subset H_1$, $E^2 \subset H_2$.*

Доказательство. Необходимость условия 1) известна. Постро множества H_1 и H_2, удовлетворяющие условию 2).

Пусть $f(x)$ — конечная в каждой точке оси OX функция. Обозначи для любого натурального n через P_n^1 множество точек x^*, для каждой к которых существует по крайней мере одна точка $z = (x^*, y)$ с абсцисс x^*, где $|y| \leqslant n$, такая, что

$$\frac{f(x^* + h) - y}{h} \geqslant 1, \quad \text{если } 0 < |h| < \frac{1}{n}.$$

Через P_m^2 обозначим множество точек x^{**}, для каждой из которых суще ствует по крайней мере одна точка $z = (x^{**}, y)$ с абсциссой x^{**}, г $|y| \leqslant m$, такая, что

$$\frac{f(x^{**} + h) - y}{h} \leqslant -1, \quad \text{если } 0 < |h| < \frac{1}{m}.$$

Множества P_n^1 и P_m^2 являются замкнутыми множествами и при любы m и n не пересекаются.

Полагаем $H_1 = \sum_n P_n^1$, $H_2 = \sum_m P_m^2$.

Докажем теперь достаточность приведенных условий.

1. Пусть даны множества E^1, E^2, H_1, H_2, причем $\operatorname{mes} E^i = 0$, $H_i \supset E^i$ $H_1 \cdot H_2 = 0$ и $E^i = \prod_{n=1}^{\infty} E_n^i$, $E_n^i = \sum_{k=1}^{\infty} E_{n,k}^i$, $H_i = \sum_{k=1}^{\infty} F_k^i$, где $E_{n,k}^i$, F_k^i — зам кнутые множества ($i = 1, 2$).

Пусть G_n ($n = 1, 2, \ldots$) — открытые множества, содержащие $E^1 + E$ причем $\operatorname{mes} G_n < 1/2^n$. Можно считать, что $G_{n+1} \subset G_n$; $E_n^i \subset G_n$; $F_k^i \subset F_{k+1}^i$; $E_{n,k}^i \subset E_{n,k+1}^i$; $E_{n+1,k}^i \subset E_{n,k}^i \subset F_k^i$. Пусть C_k^1 и C_k^2 — открытые не пересекающиеся множества, где $C^i \supset F_k^i$. Пусть, наконец, задана сумм

емая функция $u(x) = \sum_{n=1}^{\infty} u_n(x)$, где $u_n(x) = 1$ при $x \in G_n$; $u_n(x) = 0$ при $\notin G_n$.

Поместим в множества E_n^1 и E_n^2 соответственно множества e_n^1 и e_n^2, е $e_n^i = \sum_{k=1}^{\infty} e_{n,k}^i$ и $e_{n,k}^i$ — множества одновременно типа F_σ и G_δ, обладающие следующими свойствами:

1) $e_{n,1}^i = E_{n,1}^i \subset C_1^i$, $e_{n,k+1}^i \supset e_{n,k}^i$, $E^i \cdot E_{n,k}^i \subset e_{n,k}^i \subset E_{n,k}^i \subset C_k^i$.

2) Для каждого целого $k \geqslant 2$ существуют два открытых множества $_{,k}$ и $g_{n,k}$, а для $k = 1$ — одно открытое множество $g_{n,1}$ такие, что:

a) $G_n = g_{n,1} \supset e_{n,1}^i$;

b) $g_{n,k-1} - (e_{n,k-1}^1 + e_{n,k-1}^2) \supset g_{n,k}^* \supset g_{n,k} \supset (e_{n,k}^i - e_{n,k-1}^i)$, где $k \geqslant 2$;

c) точки множества $e_{n,1}^i$ суть точки плотности для $(g_{n,1} - g_{n,2}^*)$; при $\geqslant 2$ точки $(e_{n,k}^i - e_{n,k-1}^i)$ суть точки плотности для $(g_{n,k} - g_{n,k+1}^*)$;

d) если $x_0 \in g_{n,k}^*$, то для любого h

$$\frac{\int_{g_{n,k}^h} u(\xi)\, d\xi}{h} < \frac{1}{2^k},$$

де $g_{n,k}^h = g_{n,k} \cdot [x_0, x_0 + h]$ (или $g_{n,k} \cdot [x_0 + h, x_0]$, если $h < 0$).

Очевидно, $E^i \subset e_n^i \subset E_n^i$ и точки множества e_n^i суть точки плотности ля множества $\Omega_n^i = \sum_{k=1}^{\infty} (g_{n,k} - g_{n,k+1}^*) \cdot C_k^i$, причем $\Omega_n^1 \cdot \Omega_n^2 = 0$.

2. Построим теперь вспомогательные функции.

Пусть $e_{n,1}^i = \prod_{l=1}^{\infty} G_{n,1}^{(l)_i}$, где $G_{n,1}^{(l)_i}$ — открытое множество, $\overline{G}_{n,1}^{(l+1)_i} \subset G_{n,1}^{(l)_i} \subset$ $g_{n,1}$. Пусть $e_{n,k}^i - e_{n,k-1}^i = \prod_{l=1}^{\infty} G_{n,k}^{(l)_i}$, где $G_{n,k}^{(l)_i}$ — открытое множество, $_{n,k}^{(l+1)_i} \subset G_{n,k}^{(l)_i} \subset g_{n,k}$, $\overline{G}_{n,k}^{(l+1)_i} \subset G_{n,k}^{(l)_i} + E_{n,k}^i$ $(n = 1, 2, 3, \ldots;\ k = 2, 3, \ldots;$ $= 1, 2)$.

Полагаем

$$v_n^{(1)}(x) = \begin{cases} l & \text{при } x \in G_n^{(l)_1} - G_n^{(l+1)_1}, \\ +\infty & \text{при } x \in \prod_{l=1}^{\infty} G_n^{(l)_1}, \\ 0 & \text{в остальных точках;} \end{cases}$$

$$v_n^{(2)}(x) = \begin{cases} -l & \text{при } x \in G_n^{(l)_2} - G_n^{(l+1)_2}, \\ -\infty & \text{при } x \in \prod_{l=1}^{\infty} G_n^{(l)_2}, \\ 0 & \text{в остальных точках,} \end{cases}$$

где $G_n^{(l)i} = \sum_{k=1}^{\infty} G_{n,k}^{(l)i}$, причем, очевидно, $e_n^i \subset G_n^{(l)i} \subset G_n$. Пусть

$$w_n^{(1)}(x) = \begin{cases} \min[v_n^{(1)}(x),\ u(x)] & \text{при } x \in \Omega_n^1, \\ 0 & \text{в остальных точках;} \end{cases}$$

$$w_n^{(2)}(x) = \begin{cases} \max[v_n^{(2)}(x),\ -u(x)] & \text{при } x \in \Omega_n^2, \\ 0 & \text{в остальных точках.} \end{cases}$$

Пусть, далее,

$$W_n^{(i)}(x) = \int_0^x w_n^{(i)}(\xi)\, d\xi.$$

Тогда:

1) при $x \bar{\in} E_n^1$ имеем $0 \leqslant \underline{W}_n^{(1)}(x) < +\infty$;

2) при $x \in E^2$, кроме того, $0 \leqslant \overline{W}_n^{(1)}(x) < +\infty$;

3) при $x \bar{\in} E_n^2$ имеем $-\infty < \overline{W}_n^{(2)}(x) \leqslant 0$;

4) при $x \in E^1$, кроме того, $-\infty < \underline{W}_n^{(2)}(x) \leqslant 0$ (через $\overline{W}_n^{(i)}(x)$ и $W_n^{(i)}(x)$ обозначены верхняя и нижняя производные функции $W_n^{(i)}(x)$).

3. Переходим к построению искомой функции. Положим

$$w_n^{(1)*}(x) = \min_{m \leqslant n} w_m^{(1)}(x),\quad w_n^{(2)*}(x) = \max_{m \leqslant n} w_m^{(2)}(x);$$

$$w_n^{(1)**}(x) = \max[0,\ w_n^{(1)*}(x) - (n-1)],$$

$$w_n^{(2)**}(x) = \min[0,\ w_n^{(2)*}(x) + (n-1)].$$

Пусть

$$f_n^{(1)}(x) = \min[u_n(x),\ w_n^{(1)*}(x)],\quad f_n^{(2)}(x) = \max[-u_n(x), w_n^{(2)**}(x)].$$

Если $x_0 \in E^1$, то x_0 есть точка плотности для множества, где $f_n^{(1)}(x) = 1$, и точка разрежения для множества, где $f_n^{(2)}(x) = -1$ (эти множества не пересекаются). Если $x^* \in E^2$, то x^* есть точка плотности для множества, где $f_n^{(2)}(x) = -1$, и точка разрежения для множества, где $f_n^{(1)}(x) = 1$.

Положим теперь

$$f^{(i)}(x) = \sum_{n=1}^{\infty} f_n^{(i)}(x),\quad F^{(i)}(x) = \int_0^x f^{(i)}(\xi)\, d\xi.$$

Функции $F^{(1)}(x)$ и $F^{(2)}(x)$ удовлетворяют условиям:

$$\overline{F}^{(1)}(x) \leqslant \overline{W}_n^{(1)}(x) + (n-1),\quad \underline{F}^{(1)}(x) \leqslant \underline{W}_n^{(1)}(x) + (n-1);$$

$$\overline{F}^{(2)}(x) \geqslant \overline{W}_n^{(2)}(x) - (n-1);\quad \underline{F}^{(2)}(x) \geqslant \underline{W}_n^{(2)}(x) - (n-1).$$

Абсолютно непрерывная на каждом отрезке оси OX функция

$$F(x) = F^{(1)}(x) + F^{(2)}(x)$$

удовлетворяет условиям теоремы:

I. Если $x_0 \in E^1$, то $F'(x_0) = +\infty$.

II. Если $x^* \in E^2$, то $F'(x^*) = -\infty$.

III. Если $x \bar{\in} E^1 + E^2$, то $\underline{F}(x) < +\infty$, $\overline{F}(x) > -\infty$.

Московский государственный
педагогический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
25 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Н. Лузин, Собр. соч., 1, 1953, стр. 5. [2] З. С. Загорский, Матем. сборн., 9 (51), 3, 487 (1941). [3] А. Л. Брудно, Матем. сборн., 13 (55); 1, 119 (1943). [4] Е. М. Ландис, ДАН, 107, № 2 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МАТЕМАТИКА

Ю. И. ЯНОВ

О РАВНОСИЛЬНОСТИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ СХЕМ ПРОГРАММ

(Представлено академиком М. В. Келдышем 6 X 1956)

При программировании для универсальных автоматических вычислительных машин используются (логические) с х е м ы п р о г р а м м (с. п.) (1). Поскольку с. п. определяется алгоритмом неоднозначно, возникают вопросы равносильности, а также тождественных преобразований с. п. В настоящей статье с. п. рассматриваются как определенные записи порядка выполнения операторов и логических условий в зависимости от значений логических (двузначных) переменных *. При этом операторы рассматриваются как элементарные объекты, которым приписана определенная способность изменять значения логических переменных.

О п р е д е л е н и е 1. Символы $\underset{i}{\llcorner}$, $\underset{j}{\lrcorner}$ с натуральными индексами i, j будем называть, соответственно, левым и правым штрихами. Упорядоченную совокупность алгебро-логической функции α и левого штриха $\underset{i}{\llcorner}$ назовем л о г и ч е с к и м у с л о в и е м $\alpha\underset{i}{\llcorner}$. Операторы $A_1, A_2, \ldots$ и логические условия будем называть э л е м е н т а р н ы м и в ы р а ж е н и я м и (э. в.).

О п р е д е л е н и е 2. С х е м о й п р о г р а м м ы называется конечная строчка, составленная из символов операторов $A_1, A_2, \ldots$, логических условий $\alpha\underset{i}{\llcorner}$, $\beta\underset{j}{\llcorner}, \ldots$ и правых штрихов $\underset{i}{\lrcorner}$, $\underset{j}{\lrcorner}, \ldots$ такая, что для каждого левого штриха $\underset{i}{\llcorner}$ с индексом i, входящего в эту строчку, в ней найдется один и только один правый штрих $\underset{i}{\lrcorner}$ с тем же индексом i, и обратно, для каждого правого штриха $\underset{i}{\lrcorner}$ найдется один и только один левый с тем же индексом.

Будем считать, что каждое вхождение оператора в с. п. индивидуализировано.

О п р е д е л е н и е 3. Пусть имеется с. п. $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1, \ldots, A_n)$, где $p_1, \ldots, p_k$ — независимые логические переменные. Обозначим через $\Delta_1, \ldots, \Delta_{2^k}$ всевозможные наборы значений переменных $p_1, \ldots, p_k$. Назовем з н а ч е н и е м с х е м ы $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1, \ldots, A_n)$ д л я п о с л е д о в а т е л ь н о с т и н а б о р о в

$$\Delta_{s_1}, \Delta_{s_2}, \ldots, \Delta_{s_m}, \Delta_{s_{m+1}}, \ldots \quad (1 \leqslant s_j \leqslant 2^k,\ j = 1, 2, \ldots) \tag{1}$$

строчку операторов, полученную следующим процессом.

1-й ш а г: отмечаем самый левый символ схемы $\mathfrak{A}$.

Пусть проделаны l шагов, в результате которых выписана строчка операторов

$$A_{i_1}, A_{i_2}, \ldots, A_{i_{m-1}} \tag{2}$$

* Принимающих значения 0 и 1, причем пусть 0 соответствует «лжи», а 1 — «истине».

(при этом пустую строчку следует обозначить через A_{i_0}). Тогда на $(l+1)$-
шаге рассматриваем символ, отмеченный на l-м шаге, причем, если эт
э. в., то будем говорить, что оно выполняется в $\mathfrak{A}$ для последовательност
(1) при наборе Δ_{s_m}.

Возможны следующие случаи:

1) Символ, отмеченный на l-м шаге — оператор. Тогда приписывае
его справа к строчке (2) и отмечаем непосредственно следующий за ни
в схеме $\mathfrak{A}$ символ.

2) Символ, отмеченный на l-м шаге, — логическое условие $\alpha(p_1, \ldots, p_k)\vdash_i$
Тогда в случае, если $\alpha(\Delta_{s_m}) = 1$, отмечаем в схеме $\mathfrak{A}$ символ, непосред
ственно следующий за логическим условием $\alpha\vdash_i$; если же $\alpha(\Delta_{s_m}) = 0$, т
отмечаем символ, стоящий в $\mathfrak{A}$ непосредственно правее правого штриха $\vdash_i$
(если такие символы имеются в $\mathfrak{A}$).

3) Наконец, если отмеченный на l-м шаге символ есть правый штрих
то отмечаем в $\mathfrak{A}$ непосредственно следующий за ним символ (если он есть)
Процесс обрывается, если на некотором шаге не отмечено никакого сим
вола. Строчку операторов, выписанную в результате этого процесса, назовем
значением с. п. $\mathfrak{A}$ для последовательности (1). При этом в случае, если
описанный процесс продолжается бесконечно, а строчка выписанных опе
раторов конечна, то мы приписываем к ней справа скобки ( ), которы
будем называть пустым периодом. Значения с пустым периодом бу
дем считать бесконечными.

Определение 4. Мы скажем, что для множества операторов
$\mathfrak{S} = \{A_1, \ldots, A_n\}$ и множества логических переменных $\mathfrak{P} = \{p_1, \ldots, p_k\}$
задано распределение сдвигов

$$A_i - \mathfrak{P}_i \quad (i = 1, \ldots, n), \tag{3}$$

если каждому оператору A_i из $\mathfrak{S}$ поставлено в соответствие некоторо
множество логических переменных $\mathfrak{P}_i \subset \mathfrak{P}$.

Определение 5. Пусть с. п. $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1, \ldots, A_n)$ для после
довательности (1) имеет значение

$$A_{i_1}, A_{i_2}, \ldots, A_{i_m}, A_{i_{m+1}}, \ldots \tag{4}$$

Тогда последовательность (1) назовем допустимой для $\mathfrak{A}$ при распре
делении сдвигов (3), если для всякого $m = 1, 2, \ldots$ набор $\Delta_{s_{m+1}}$ отли
чается от набора Δ_{s_m} значениями переменных только из $\mathfrak{P}_{i_m}$. При этом
если строчка (4) конечна и A_{i_r} — ее последний оператор, то наборы
$\Delta_{s_{r+2}}, \Delta_{s_{r+3}}, \ldots$ произвольны.

Определение 6. Будем говорить, что с. п. $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k)$
$\mathfrak{B}(p_1, \ldots, p_k)$ равносильны при распределении сдвигов (3)
(что обозначим $\mathfrak{A} = \mathfrak{B}$), если для любой последовательности наборов, до
пустимой для $\mathfrak{A}$ или $\mathfrak{B}$ при этом распределении сдвигов, их значени
совпадают.

Определение 7. Мы скажем, что с. п. $\mathfrak{A}$ и $\mathfrak{B}$ частично равно
сильны при распределении сдвигов (3), если для любой после
довательности наборов, допустимой для $\mathfrak{A}$ или $\mathfrak{B}$, либо их значения совпадают
либо значение той из них, для которой эта последовательность допустима
бесконечно.

Положительно решаются следующие задачи: найти алгоритм, которы
для любой пары с. п. давал бы ответ, равносильны они (соответственно
частично равносильны) или нет при данном распределении сдвигов.

Определение 8. Для каждого э. в. $\mathfrak{B}$ и с. п. $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k)$ определим алгебро-логическую функцию $\mathfrak{B}^{\otimes}_{(\mathfrak{A})}(p_1, \ldots, p_k)$ следующим образом:

$$\mathfrak{B}^{\otimes}_{(\mathfrak{A})}(\Delta_s) = \begin{cases} 1, \text{ если } \mathfrak{B} \text{ выполняется в } \mathfrak{A} \text{ для стационарной последовательности } \Delta_s, \Delta_s, \ldots, \Delta_s, \ldots; \\ 0 \text{ в противном случае.} \end{cases}$$

Определение 9. Для с. п. $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1, \ldots, A_n)$ при распределении сдвигов (3) обозначим

$$\alpha_i^1 = \max_{\mathfrak{P}_l} A^{\otimes}_{i(\mathfrak{A})}(p_1, \ldots, p_k) \quad (i = 1, \ldots, n),$$

где максимум берется по всевозможным наборам значений переменных $\mathfrak{P}_i$, и рассмотрим с. п. $\mathfrak{A}^{(1)} \equiv q_1 \vee \overline{\alpha_1^1} \llcorner_{j_1} \ldots q_n \vee \overline{\alpha_n^1} \llcorner_{j_n} \mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1 \lrcorner_{j_1}, \ldots, A_n \lrcorner_{j_n})$ *, где $q_1, \ldots, q_n$ — независимые логические переменные. Пусть определены функции α_i^{ν} $(i = 1, \ldots, n)$ и с. п. $\mathfrak{A}^{(\nu)}$, которую мы назовем ν-м погружением с. п. $\mathfrak{A}$. Полагаем

$$\alpha_i^{\nu+1} = \max_{\mathfrak{P}_i, q_1, \ldots, q_n} A^{\otimes}_{i(\mathfrak{A}^{(\nu)})}(p_1, \ldots, p_k, q_1, \ldots, q_n) \quad (i = 1, \ldots, n),$$

где максимум берется по всевозможным наборам значений переменных из $\mathfrak{P}_i$ и $q_1, \ldots, q_n$, и соответственно

$$\mathfrak{A}^{(\nu+1)} \equiv q_1 \vee \overline{\alpha_1^{\nu+1}} \llcorner_{j_1} \ldots q_n \vee \overline{\alpha_n^{\nu+1}} \llcorner_{j_n} \mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1 \lrcorner_{j_1}, \ldots, A_n \lrcorner_{j_n}).$$

Очевидно, что для всякого $i = 1, 2, \ldots, n$ и $\nu = 1, 2, \ldots$ $\alpha_i^{\nu} \to \alpha_i^{\nu+1}$**, потому найдется такое натуральное μ, что для всех $i = 1, 2, \ldots, n$ $\alpha_i^{\mu+1} \equiv \alpha_i^{\mu}$. Назовем с. п. $\mathfrak{A}^{(\mu)}$ стационарным погружением с. п. $\mathfrak{A}$ при распределении сдвигов (3).

Определение 10. Назовем с. п. $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k)$ и $\mathfrak{B}(p_1, \ldots, p_k)$ слабо равносильными, если для любой последовательности вида $\Delta_s, \Delta_s, \ldots, \Delta_s, \ldots$ первые операторы их значений совпадают, причем если значение одной из них — пустой цикл или пусто, то таковым же должно быть значение и другой с. п.

Теорема. *Для того чтобы с. п.* $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k)$, $\mathfrak{B}(p_1, \ldots, p_k)$ *были равносильны при данном распределении сдвигов* (3), *необходимо и достаточно, чтобы их стационарные погружения были слабо равносильны.*

Аналогично для каждой с. п. $\mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1, \ldots, A_n)$ можно построить такую систему функций $\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_n$, что вопрос о частичной равносильности с. п. будет сводиться к вопросу о слабой равносильности с. п. вида

$$q_0 \vee \overline{\beta_0} \llcorner_{j_0} \ldots q_n \vee \overline{\beta_n} \llcorner_{j_n} \lrcorner_t 0 \llcorner_t \lrcorner_{j_0} \mathfrak{A}(p_1, \ldots, p_k, A_1 \lrcorner_{j_1}, \ldots, A_n \lrcorner_{j_n}).$$

Вопрос о тождественных преобразованиях с. п. сводится к построению полной системы элементарных правил преобразований. Для этого сначала необходимо ввести эффективное понятие подчиненности э. в. логической функции, содержательный смысл которого состоит в следующем: если э. в. α в с. п. $\mathfrak{A}$ подчинено функции α при распределении сдвигов (3), то для любой допустимой последовательности равенство $\alpha(\Delta_s) = 1$ есть необходимое условие выполнимости $\mathfrak{B}$ при наборе Δ_s.

---

* Если $\mathfrak{A}$ не содержит некоторых из операторов $A_1, \ldots, A_n$, то соответствующие правые штрихи $\lrcorner_{j_r}$ при построении с. п. $\mathfrak{A}^{(\nu)}$ можно ставить на произвольные места, например, непосредственно перед $\mathfrak{A}$.

** Т. е. $(\alpha_i^{\nu} \to \alpha_i^{\nu+1}) \equiv 1$.

Определение 11. Будем называть выражением всякую конеч ную строчку, составленную из различных символов операторов, логич ских условий и правых штрихов так, что для всякого натурально числа i в ней найдется не больше одного левого и не больше одно правого штриха с индексом i.

Очевидно, с. п. есть выражение.

Следующая система схем аксиом и правил вывода (где $\mathfrak{M}$, $\mathfrak{N}$ — пр извольные выражения; $\mathfrak{Q}(\mathfrak{M})$ — выражение, формально содержащее выр жение $\mathfrak{M}$: A_k — произвольный оператор; α, β, 0, 1 — формулы классич ского исчисления высказываний) полна в смысле выводимости всяк истинной при данном распределении сдвигов формулы вида $\mathfrak{A} = \mathfrak{B}$, г $\mathfrak{A}$ и $\mathfrak{B}$ — с. п.

I. 1) $0 \underset{i}{\llcorner} A_k \underset{i}{\lrcorner} = 0 \underset{i}{\llcorner} \underset{i}{\lrcorner}$;

2) $1 \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{i}{\lrcorner} = \mathfrak{M}$;

3) $\underset{i}{\lrcorner} \mathfrak{M}\, 1 \underset{i}{\llcorner} = \mathfrak{M}$.

II. 1) $\alpha \& \beta \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{i}{\lrcorner} = \alpha \underset{i}{\llcorner} \beta \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{i}{\lrcorner} \underset{j}{\lrcorner}$;

2) $\underset{i}{\lrcorner} \mathfrak{M}\, \alpha \& \beta \underset{i}{\llcorner} = \underset{i}{\lrcorner} \underset{j}{\lrcorner} \mathfrak{M} \alpha \underset{i}{\llcorner} \beta \underset{j}{\llcorner}$;

3) $\alpha \vee \beta \underset{i}{\llcorner} = \alpha \underset{j}{\llcorner} \beta \underset{i}{\llcorner} \underset{j}{\lrcorner}$.

III. $\mathfrak{M}\mathfrak{N} = 0 \underset{i}{\llcorner} \underset{j}{\lrcorner} \mathfrak{N}\, 0 \underset{k}{\llcorner} \underset{i}{\lrcorner} \mathfrak{M}\, 0 \underset{j}{\llcorner} \underset{k}{\lrcorner}$.

IV. $\underset{i}{\lrcorner} \underset{j}{\lrcorner} = \underset{j}{\lrcorner} \underset{i}{\lrcorner}$.

V. $\alpha \underset{i}{\llcorner} \underset{j}{\lrcorner} = \Lambda$, где Λ — пустая схема.

VI. 1) $\alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{i}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{N} \underset{j}{\lrcorner} = \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{N} \underset{j}{\lrcorner} \underset{i}{\lrcorner}$;

2) $\alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{j}{\lrcorner} \mathfrak{N} \underset{i}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner} = \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{j}{\lrcorner} \underset{i}{\lrcorner} \mathfrak{N} \alpha \underset{j}{\lrcorner}$;

3) $\underset{j}{\lrcorner} \mathfrak{M} \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{N} \underset{i}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner} = \underset{j}{\lrcorner} \underset{i}{\lrcorner} \mathfrak{M} \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{N} \alpha \underset{j}{\llcorner}$;

4) $\underset{i}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{M} \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{N} \underset{j}{\lrcorner} = \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{M} \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{N} \underset{j}{\lrcorner} \underset{i}{\lrcorner}$;

5) $\underset{i}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{j}{\lrcorner} \mathfrak{N} \alpha \underset{i}{\llcorner} = \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{j}{\lrcorner} \underset{i}{\lrcorner} \mathfrak{N} \alpha \underset{i}{\llcorner}$;

6) $\underset{j}{\lrcorner} \mathfrak{M} \underset{i}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{N} \alpha \underset{i}{\llcorner} = \underset{j}{\lrcorner} \underset{i}{\lrcorner} \mathfrak{M} \alpha \underset{j}{\llcorner} \mathfrak{N} \alpha \underset{i}{\llcorner}$.

VII. $\underset{i}{\lrcorner} \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{j}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner} = \alpha \underset{i}{\llcorner} \mathfrak{M} \underset{i}{\lrcorner} \underset{j}{\lrcorner} \alpha \underset{j}{\llcorner}$.

VIII. $\dfrac{\alpha \equiv \beta}{\mathfrak{M}(\alpha) = \mathfrak{M}(\beta)}$.

IX. $\dfrac{\mathfrak{M} = \mathfrak{N},\ \mathfrak{Q}(\mathfrak{M}) = \mathfrak{R}}{\mathfrak{Q}(\mathfrak{N}) = \mathfrak{R}}$ *.

X. Пару соответственных штрихов $\underset{i}{\llcorner}$, $\underset{i}{\lrcorner}$, входящую в одно выраж ние, можно заменить любой другой парой $\underset{j}{\llcorner}$, $\underset{j}{\lrcorner}$, но так, чтобы выражен осталось выражением.

XI. Если логическое условие $\alpha \underset{i}{\llcorner}$ при данном распределении сдвиг подчинено β, то $\alpha \underset{i}{\llcorner}$ можно заменить на $\alpha \& \beta \underset{i}{\llcorner}$.

Математический институт им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
29 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

А. И. Китов, Электронные цифровые машины, М., 1956, стр. 193.

* При этом предполагается, что $\mathfrak{Q}(\mathfrak{N})$ — также выражение.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МЕХАНИКА

Академик И. И. АРТОБОЛЕВСКИЙ

ОБ ОДНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

В настоящей работе излагается теория преобразователя движения вого вида. Преобразователь представляет собой кинематическую цепь, казанную на рис. 1. Звено 2 вращается около центра A и представляет бой двухсторонний коленчатый рычаг с жестким углом kAm, равным °. Стороны Ak и Am рычага 2 скользят в ползунах 5 и 7, которые одят во вращательные пары в точках C и D с ползунами 4 и 6. Пол-ны 4 и 6 скользят по траверсе $t-t$, принадлежащей звену 3, которое ижется поступательно в неподвижных направляющих B.

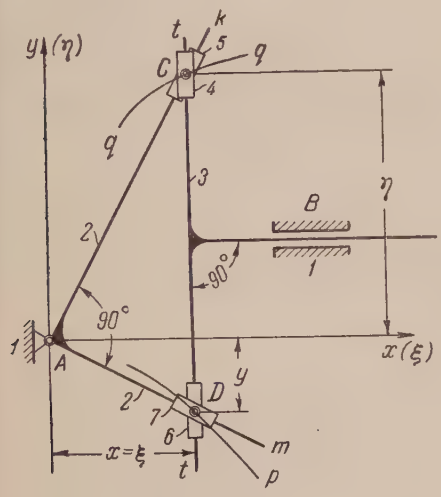


Рис. 1

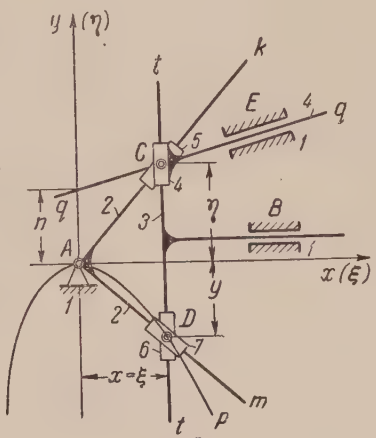


Рис. 2

Нетрудно видеть, что данная кинематическая цепь обладает двумя епенями свободы. Следовательно, если точку C вести по некоторой кри-й $q-q$, определяемой уравнением $\Psi(\xi, \eta)=0$, то точка D будет дви-ться по кривой $p-p$, определяемой уравнением $\Phi(x, y)=0$. Таким разом, указанная кинематическая цепь преобразует кривую $\Psi(\xi, \eta)=0$ кривую $\Phi(x, y)=0$.

Рассмотрим связь между координатами кривых $\Psi(\xi, \eta)=0$ и $(x, y)=0$.

Из рис. 1 непосредственно следует, что

$$x=\xi, \tag{1}$$

$$y=\frac{\xi^2}{\eta}. \tag{2}$$

Нетрудно видеть, что цепь обладает св. ством обратимости преобра-вания движения, т. е. если точку D вести по кривой $p-p$, то точка будет описывать кривую $q-q$.

Пусть кривая $\Psi(\xi, \eta) = 0$ будет прямой $q - q$ (рис. 2), уравнени которой

$$\eta = \xi \operatorname{tg} \alpha + n, \qquad (3$$

где α — угол, образуемый осью Cq неподвижной направляющей E, в ко торой движется звено 4, с осью Ax. Исключая из уравнений (1), (2) (3) координаты ξ и η, получаем уравнение кривой $\Phi(x, y) = 0$:

$$x^2 - \operatorname{tg} \alpha \cdot xy - ny = 0, \qquad (4$$

т. е. уравнение неравнобочной гиперболы. Таким образом, ме ханизм, показанный на рис. 2, представляет собой гиперболограф.

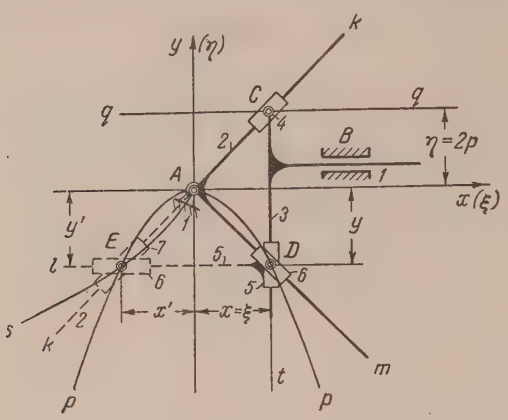


Рис. 3

Если прямая $q - q$ парал лельна оси Ax, то получится шестизвенный механизм, пока занный на рис. 3. Координата η примем равной $\eta = 2p$, где p — некоторая постоянная. Из рис. 3 и уравнений (1) и (2) следует

$$x^2 = 2py, \qquad (5$$

т. е. кривая $p - p$ будет парабо лой с параметром, равным p. Нетрудно видеть, что этот слу чай приводит нас к параболо графу Антонова, теория которог дана Н. Б. Делоне (1).

Пусть кривая $\Psi(\xi, \eta) = 0$ — коническое сечение, заданно уравнением общего вида

$$A\xi^2 + 2B\xi\eta + C\eta^2 + 2D\xi + 2E\eta + F = 0. \qquad (6$$

Исключая из уравнений (1), (2) и (6) координаты ξ и η, получи уравнение кривой $\Phi(x, y) = 0$ в форме

$$Ax^2y^2 + 2Bx^3y + Cx^4 + 2Dxy^2 + \\ + 2Ex^2y + Fy^2 = 0. \qquad (7)$$

Это кривая 4-го порядка, следовательно, кинематическая цепь, показанная на рис. 1, пре образует кривые 2-го порядка в кривые 4-го порядка.

Если коническое сечение $\Psi(\xi, \eta) = 0$ — эллипс с центром в точке A (рис. 4) и полуосями a и b

$$b^2\xi^2 + a^2\eta^2 - a^2b^2 = 0, \qquad (8)$$

то уравнение преобразованной кри вой $\Phi(x, y) = 0$ имеет вид

$$y^2 = \frac{a^2}{b^2} \frac{x^4}{a^2 - x^2}. \qquad (9)$$

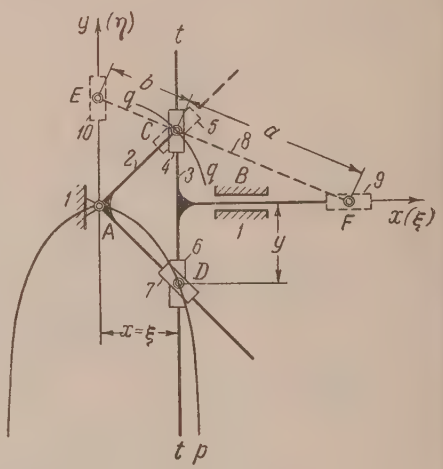


Рис. 4

Механизм для преобразования эллипса (8) в кривую (9) показан н рис. 4. Точка C преобразователя принадлежит звену 8, входящему в вращательные пары с ползунами 9 и 10, скользящими вдоль неподвижны

ей Ax и Ay. Для того чтобы точка C звена 8 двигалась по эллипсу полуосями a и b, она должна делить отрезок EF в отношении $C/CF = a/b$.

Если точка C (рис. 4) будет двигаться по окружности

$$\xi^2 + \eta^2 - r^2 = 0, \tag{10}$$

уравнение (7) примет вид

$$^2y = \frac{x^4}{r^2 - x^2}. \tag{11}$$

о «кривая каппа». Механизм для образования «кривой каппа» лжен иметь кривошип AC (рис. 4) постоянной длины r. Для получения ого механизма в показанном на рис. 4 механизме должны быть отсоединены звенья 5, 8, 9 и 10, показанные пунктиром.

Если кривая $\Psi(\xi, \eta) = 0$ — парабола с вершиной в начале координат

$$\eta^2 = 2p\xi, \tag{12}$$

уравнение кривой $\Phi(x, y) = 0$ будет

$$y^2 = \frac{1}{2p}x^3. \tag{13}$$

го уравнение полукубической параболы. Чтобы с помощью ссматриваемого преобразователя (рис. 1) получить механизм для образования полукубической параболы, можно воспользоваться рассмотренным ше параболографом Антонова (рис. 3). Точка D этого механизма чертит раболу $p - p$, данную уравнением (5). Присоединим к механизму ухповодковую группу, показанную пунктиром и состоящую из ползунов и 7, входящих во вращательную пару E. Ползун 6 должен скользить направляющей, принадлежащей звену 5, а ползун 7 — по направляющей $- k$, принадлежащей звену 2. Направляющая Dl образует с прямой Ct ямой угол. Точка E механизма будет описывать кривую $s - s$, уравнение торой

$$x'^2 = \frac{1}{2p}y'^3, \tag{14}$$

е. полукубическую параболу.

Таким образом, используя предложенный механический преобразователь, тем настройки его звеньев могут быть получены механизмы для образования ряда кривых различных порядков.

Институт машиноведения
Академии наук СССР

Поступило
5 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Б. Делоне, Передача вращения и механическое черчение кривых шарнирно-чажными механизмами, СПб, 1894.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МЕХАНИК

В. А. ЕГОРОВ

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ ПОЛЕТА К ЛУНЕ

(Представлено академиком М. В. Келдышем 27 IX 1956)

При современном развитии ракетостроения становится реальным дост жение скоростей, достаточных не только для создания искусственного сп ника Земли, но и для полета к Луне. Но до сих пор в литературе [1–5] нашли удовлетворительного решения принципиальные вопросы теор полета к Луне: форма и классификация траекторий на пассивном участк возможность облета Луны с возвращением на Землю, возможность пери дического облета Луны и Земли, вопрос о попадании в Луну, а также со бенно важный вопрос о влиянии разброса начальных данных на реали цию попадания или облета. Объясняется это принципиальными трудностям Действительно, в простейшей постановке, при учете лишь главных из дей вующих на ракету сил, задача сводится к нерешенной в механике кругов ограниченной задаче трех тел (m_1 — Земля, m_2 — Луна, m_0 — ракет В 1953—1955 гг. нами была предпринята попытка систематического иссл дования плоской задачи. Для нахождения интересующих нас траектор и определения влияния разброса начальных данных теоретические метод дополнялись численными, с применением электронных машин. Ниже изл гаются основные результаты решения указанных выше задач *.

1. Задача о попадании в Луну. Найден метод определен начальных данных, отвечающих попаданиям. Строго доказано, что мин мальное расстояние ρ ракеты от центра Луны является квадратичн а не линейной функцией ошибок в начальных данных, так что точн попадание в Луну есть более легкая задача, чем попадание в непри гивающую точку, движущуюся так же, как Луна. Для значения угла между начальными геоцентрическими радиусом r_1 и скоростью V_1, равн $\pi/2$, найдены зависимости от V_1: для времени полета, углового расстоян точки старта и точки попадания и для коэффициентов k_i в выражени $\rho_i = k_i(\delta x_i)^2$ (где δx_i — вариация i-го начального данного) в диапазо $-0{,}1 < \Delta V_1 < 0{,}5$ км/сек, где $\Delta V_1 = V_1 - V_п$, а $V_п^2 = 2fm_1/r_1$. Оказалос что минимальные ΔV_1, отвечающие попаданию, принадлежат этому диап зону и что ход зависимостей для $\Delta V_1 > 0{,}5$ является уже асимптотически (к величинам, отвечающим $\Delta V_1 = \infty$). Оказалось также, что неучет прит жения Луны дает $\rho \leqslant 1$ км, если $\Delta V_1 \geqslant 0$. С убыванием ΔV_1 промах быстро растет. Наименее благоприятными в смысле точностей являют скорости, близкие к минимальным; наиболее благоприятными — скорост несколько меньшие $V_п$. При $V_1 < V_п$ попасть в Луну можно как восходяще так и нисходящей ветвью траектории, но точности попадания нисходяще ветвью в 2—5 раз хуже точностей попаданий восходящей ветвью п тех же ΔV_1. Влияние ошибки в начальной высоте для всех случае оказалось практически несущественным.

Пример. Ошибки $\delta V_1 = 10$ м/сек, $\delta\alpha_1 = 10^{-2}$, $\delta r_1 = 50$ км вызыва

* Получены автором в Математическом институте АН СССР и доложены там в февра 1956 г.

ответственно, следующие промахи (в км) на восходящей ветви: 1) для $\Delta V_1 = -0{,}092828$: $\rho_v = 11184$, $\rho_\alpha = 1208$, $\rho_r = 56$; 2) для $\Delta V_1 = 0$: $\rho_v = 125$, $= 5159$, $\rho_r = 43$; 3) для $\Delta V_1 = +0{,}106093$: $\rho_v = 318$, $\rho_\alpha = 6121$, $\rho_r = 140$.

2. Задача об облете Луны. Найден метод определения начальных данных, отвечающих облету Лу-, с возвращением в точку m_1. И есь промах при возврате есть квадратичная функция ошибок в начальных данных. Облет Луны в плоскости ξ, η, вращающейся вместе с прямой m_1m_2 (см. с. 1), возможен только по часовой релке, т. е. в направлении, обратном орости ее обращения.

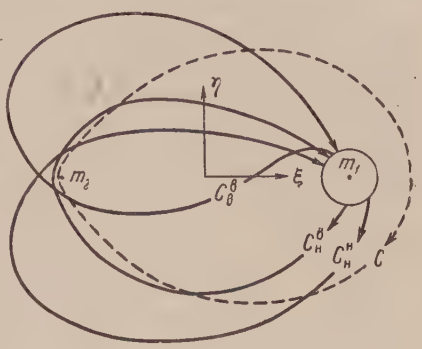


Рис. 1

Облетные траектории по характеру лижения с m_2 могут быть двух классов:

1) Сближение тесное, происходит ля всех α_1 на восходящей (в) ветви, ереходящей тотчас в нисходящую (н) бозначим этот класс $C^{в}_{н}$).

2) Сближение слабое, происходит для $\alpha_1 > 0$ на восходящей ветви одкласс $C^{в}_{в}$) и для $\alpha_1 < 0$ — на нисходящей (подкласс $C^{н}_{н}$). Тип ветви осле сближения не меняется. (Классы схематически изображены на рис. 1. се траектории обходят m_2 по часовой стрелке.)

При больших ΔV_1 и $|\alpha_1| < \pi/2$ существуют только облеты $C^{в}_{н}$. При меньшении ΔV_1 появляются облеты подкласса $C^{в}_{в}$. При $\Delta V_1 = 0$ появляются блеты подкласса $C^{н}_{н}$. При достаточном убывании ΔV_1 облет становится евозможным. Первыми исчезают облеты с $\alpha_1 > 0$, затем — с $\alpha_1 < 0$. Решения $C^{в}_{в}$, $C^{н}_{н}$ практически для всех V_1 проходят вне диска Луны, а решения $^{в}_{н}$ — лишь для V_1, близких к минимальным.

Кроме облетных, в плоскости ξ, η могут быть траектории сближения, е охватывающие Луны, но позволяющие все же заглянуть на ее обратную орону и возвратиться к m_1. Они обходят m_2 против часовой стрелки. ы назовем их долетными.

Долетные траектории тоже делятся на два класса, аналогичные облетным:

1) Сближение тесное, происходит на нисходящей ветви, переходящей отчас же в восходящую, и лишь потом возвращающуюся к Земле ласс $D^{н}_{в}$).

2) Сближение слабое, происходит либо на восходящей ветви (подласс $D^{в}_{в}$), либо на нисходящей (подкласс $D^{н}_{н}$). Тип ветви после сближения е меняется.

Эволюция долетных траекторий аналогична эволюции облетных.

3. Специальная задача об облете Луны. Это задача отыскания облетов, в которых ракета возвращается в атмосферу Земли полого. акие облеты практически наиболее интересны. Метод решения задачи применим и к этой задаче. Но в ней промах является уже линейной ункцией ошибок начальных данных, что вместе с относительной малостью олщины атмосферы приводит к гораздо более жестким требованиям по очностям. Каждому классу задачи 2 соответствуют два класса задачи 3, бходящие m_2 в том же направлении, а m_1 — в разных. Назовем их $C^{в}_{н+}$ $C^{в}_{н-}$ для 1-го класса и $C^{в}_{в-}$ и $C^{н}_{н+}$ — для 2-го класса. Каждая пара раничивает в своем классе облеты задачи 2, отвечающие допустимым азбросам начальных данных. При этом существуют еще тривиальные граичные решения для 2-го класса, не отвечающие сближению с уной. Аналогичные факты имеют место и для долетных классов.

Эволюция классов задачи 3 легко следует из эволюции соответствующ классов задачи 2.

Влияние разброса в начальных данных зависит не только от харак прохождения траектории относительно m_1, но и от ρ. При малы разброс сказывается сильнее, чем при больших.

Пример. Для облета типа $C^{в}_{н+}$ с $\Delta V_1 = -0{,}083773$ и временем пол 823 600 сек. оказалось $\rho = 27$ тыс. км. Ошибки в начальных дан по скорости $\delta V_1 = 2 \cdot 10^{-4}$ км/сек, ее направлению $\delta\alpha_1 = 5 \cdot 10^{-3}$ — вызы при возврате изменения высот, соответственно, 160 и 191 км, т. е. являю недопустимыми (изменения высот не должны превышать десятков к метров). Уменьшение ρ на порядок увеличивает влияние ошибок на порядка.

4. Задача о периодическом облете. Простейшие пери ческие решения (решения, после сближения с m_2, идущие к m_1) симметри и составляют два однопараметрических семейства — облетное и долет Методом, аналогичным методу Копенгагенской школы ([6]), найдено обле решение, касающееся атмосферы, но оно оказалось проходящим вну диска Луны и неустойчивым. Все решения, проходящие над поверхнос Луны, удалены от m_1 более чем на 94,8 тыс. км (см. пунктир C рис. 1) и тоже неустойчивы. Например, решение с $r_1 = 82824$ $\rho \cong 1500$ км при ошибке в скорости $\delta V_1 \sim 0{,}001$ м/сек уходит в бес нечность уже с 4-го оборота. Ошибки в начальных данных: по началь скорости $\delta V_1 = 10^{-4}$ км/сек, ее направлению $\delta\alpha_1 = 10^{-4}$ и высоте $\delta r_1 = 5$ км вы вают в конце оборота изменения высоты, соответственно, 3471; 5252; 262

5. Классификация траекторий в плоскости орби Луны и задача о разгоне ракеты. Кроме найденных попада щих и облетных траекторий сближения с m_2 существуют еще траекто сближения, отвечающие или разгону ракеты после сближения, или замедлению (относительно m_1), и других траекторий сближения не существу Восходящие траектории замедления обходят Луну по часовой стрелке, а разго ные траектории — против. Максимальному разгону ΔV_{max} при любых V_1 и соответствует траектория, касающаяся диска Луны (ср. ([1])). Максимальн скорость можно получить в любом направлении. Так как плоскость орби Луны составляет небольшой угол с плоскостями орбит других плане разгон без затраты топлива можно использовать для межпланетного полет Для задачи о разгоне был создан метод, позволяющий для любых и α_1 получить траекторию с ΔV_{max}. Легко видеть, что решение зада о любом разгоне после замены t на $-t$ всегда дает решение зада о таком же торможении ракеты при движении по траектории, зеркаль симметричной разгонной. Это может быть использовано, например, пр возвращении ракеты из межпланетного полета.

Замечания. 1. Вопрос о минимальных скоростях V_{min} имеет при ципиальное значение (при $V_1 < V_{min}$ наши задачи не имеют решения Он был решен ранее других задач. С помощью рассмотрения поверхнос нулевой скорости, проходящей через точку либрации L_1, для трехмерно задачи было доказано, что V_{min} является одной и той же в задачах и 2 и равной $V^*_{min} = 10{,}8315$ км/сек практически для всех точек сфер $r_1 = 6571{,}118$ км. Однако при V_1, близких к V^*_{min}, сближение, т. е. вхо ракеты в сферу действия m_2, $\rho < \rho^*$, возможно только после достаточно количества ее обращений (порядка сотен) вокруг m_1. Для сближения ж с m_2 на первом обороте (что мы предполагали) минимальные скорост различны в задачах 1—5 и превышают 10,9052 км/сек.

Попутно была обнаружена ошибочность одной теоремы Мартина ([7] Если положить $m_2 = \mu$, $m_1 = 1 - \mu$, то для расстояний $\rho_1(\mu)$ и $\rho_2(\mu)$ точек L_1 и L_2 от μ при $0 < \mu < 1$ всегда $\rho_1(\mu) < \rho_2(\mu)$, и равенство и при $0 < \mu < 1$ невозможно, вопреки теореме Мартина.

2. Вопрос о возможности захвата Луной ракеты, выпущенной с Земл

идно, важен для решения задач 1—5. Методом, аналогичным приме-
ому В. Г. Фесенковым ([8]), для трехмерной задачи было показано, что
ат невозможен ни при каких начальных данных. Попутно был исправлен
терий возможности захвата (В. Г. Фесенкова) $\frac{1}{a_2} + 2\sqrt{p_2}\cos i_2 < \mu F$,
привело к критерию $\frac{\mu}{a_2} + 2\sqrt{\mu p_2}\cos i_2 < \mu F_1 + 10\left(\frac{\mu}{3}\right)^{2/3}$, где a_2, p_2, i_2 —
менты m_2 — центрической орбиты ракеты, а F и F_1 конечны.
3. Примененные приближенные теоретические методы основывались
пренебрежении возмущениями m_1 при $\rho < \rho^* \cong 66\,100$ и возмущениям m_2
$\rho > \rho^*$; пренебрегалось и некоторыми другими второстепенными факто-
и. Однако почти все результаты проверялись и неизменно подтвержда-
ь более точным методом — численным интегрированием. Интегрирование
олнялось для регуляризованных уравнений в переменных Тиле на эле-
онной машине СЦМ ([9]) с 5—7 верными знаками. Для отыскания
екторий различного назначения применялись итерационные методы,
го было сосчитано более 600 траекторий.

Отделение прикладной математики
Математического института им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
25 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Br. Thüring, Weltraumfahrt, **3**, № 4, 102 (1952). [2] Br. Thüring, Weltnfahrt, **5**, № 3, 69 (1954). [3] Br. Thüring, Weltraumfahrt, **5**, № 4, 103 (1954). F. Lawden, J. Brit. Interpl. Soc., **13**, № 6, 329 (1954). [5] D. F. Lawden, Brit. Interpl. Soc., **14**, № 4, 204 (1955). [6] E. Strömgren, Publ. fra Kobenhavns ., **100** (1937). [7] M. Martin, Am. J. Math., **53**, 167 (1931). [8] В. Г. Фесенв, Астр. журн., **23**, в. 1 (1946). [9] В. А. Егоров, Тр. конф. Пути развития отеченного математического машиностроения и приборостроения, 1956.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МЕХАНИ

Л. И. РУБИНШТЕЙН

О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ Н. Н. ВЕРИГИНА

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 22 IX 1956)

Н. Н. Вериганым (1) была рассмотрена задача, находящаяся в том же отношении к известной задаче Стефана (2), как обычные двуслойные тепловые задачи к обычным однослойным задачам. Пример Н. Н. Веригина является одним из немногих (среди задач подсбного рода), допускающих автомодельное решение. В общей постановке для решения задачи Веригина необходимо развитие специальных методов. Ниже это делается для задачи Веригина в следующей ее постановке.

Требуется определить функции p_1, p_2 и y, удовлетворяющие условиям

$$\frac{\partial^2 p_1}{\partial \xi^2} = \frac{\partial p_1}{\partial \tau} \quad \text{при } -\infty < \xi < y(\tau),\ \tau > 0;$$

$$a^2 \frac{\partial^2 p_2}{\partial \xi^2} = \frac{\partial p_2}{\partial \tau} \quad \text{при } y(\tau) < \xi < 0,\ \tau > 0;$$

$$p_i\Big|_{\tau=0} = \varphi_i(\xi) \quad (i = 1, 2); \qquad \frac{\partial p_2}{\partial \xi}\Big|_{\xi=0} = \psi(\tau);$$

$$p_1|_{\xi=y(\tau)-0} = p_2|_{\xi=y(\tau)+0}; \qquad \lambda \frac{\partial}{\partial \xi} p_1\Big|_{\xi=y(\tau)-0} = \frac{\partial}{\partial \xi} p_2\Big|_{\xi=y(\tau)+0}$$

$$\frac{dy}{d\tau} = -\frac{\partial p_1}{\partial \xi}\Big|_{\xi=y(\tau)}; \qquad y(0) = -1.$$

Предполагается, что $\varphi_i(\xi)$ трижды и $\psi(\tau)$ дважды непрерывно дифференцируемы всюду в области их определения, причем

$$\left|\frac{d^m \varphi_i}{d\xi^m}\right|, \left|\frac{d^k \psi}{d\tau^k}\right| < M \quad (m = 0, 1, 2, 3;\ k = 0, 1, 2)$$

и, сверх того,

$$\varphi_2(-1) = \varphi_1(-1); \quad \alpha \dot{\varphi}_2(-1) + \dot{\varphi}_1(-1) \neq 0; \quad \dot{\varphi}_2(0) = \psi(0).$$

Положим

$$\frac{\partial p_1}{\partial \xi}\Big|_{\xi=y(\tau)} = v(\tau); \qquad p_i|_{\xi=y(\tau)} = f(\tau); \qquad p_2|_{\xi=0} = F(\tau)$$

и обозначим через $g_i(\xi, \xi_1, \tau - \tau_1)$ и $G_i(\xi, \xi_1, \tau - \tau_1)$ функции Грина первой и второй краевых задач уравнения (1)—(5) для полупрямой $\xi <$

Должны иметь место равенства:

$$p_2(\xi, \tau) = \int_{-1}^{0} \varphi_2(\xi_1)\, G_2(\xi, \xi_1, \tau)\, d\xi_1 + a^2 \int_0^\tau f(\tau_1)\, \frac{\partial}{\partial \xi_1} G_2(\xi, y(y, \tau - \tau_1)\, d\tau_1 -$$

$$- \int_0^\tau [a^2 v(\tau_1) + \dot{y}(\tau_1) f(\tau_1)]\, G_2(\xi, y(\tau_1), \tau - \tau_1)\, d\tau_1 +$$

$$+ a^2 \int_0^\tau \psi(\tau_1)\, G_2(\xi, 0, \tau - \tau_1)\, d\tau_1 = \sum_{i=2}^{4} J_i^0(\xi, \tau).$$

В пределе при $\xi \to 0$ найдем;

$$F(\tau) = \sum_{i=1}^{4} J_i^0(0, \tau). \tag{10}$$

Произведем теперь в (1)—(5) замену переменных, положив

$$x = \xi - y(\tau); \quad t = \tau; \quad z(t) = -y(\tau); \quad p_i^*(x, t) = p_i(\xi, \tau);$$
$$q_i(x, t) = \frac{\partial}{\partial x} p_i^*(x, t); \quad f_i(x) = \varphi_i(x - 1). \tag{11}$$

Получим

$$\frac{\partial^2 p_1^*}{\partial x^2} = \frac{\partial p_1^*}{\partial t} + \dot{z}(t) q_1(x, t) \qquad \text{при} -\infty < x < 0, t > 0; \tag{12}$$

$$a^2 \frac{\partial^2 p_2^*}{\partial x^2} = \frac{\partial p_2^*}{\partial t} + \dot{z}(t) q_2(x, t) \quad \text{при } 0 < x < z(t), \ t > 0; \tag{13}$$

$$p_i^*\big|_{t=0} = f_i(x); \qquad \frac{\partial}{\partial x} p_2^*\Big|_{x=z(t)} = \psi(t); \tag{14}$$

$$p_1^*\big|_{x=0} = p_2^*\big|_{x=0}; \quad \lambda \frac{\partial}{\partial x} p_1^*\Big|_{x=0} = \frac{\partial}{\partial x} p_2^*\Big|_{x=0}; \tag{15}$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\partial p_1^*}{\partial x}\Big|_{x=0}; \quad z(0) = 1. \tag{16}$$

Подвергая равенства (12) и (13) преобразованию Грина и учитывая и (14), найдем:

$$p_1^* = \int_{-\infty}^{0} f_1(\xi) G_1(x, \xi, t) d\xi + \int_0^t v(\tau) G_1(x, 0, t - \tau) d\tau -$$

$$- \int_0^t \dot{z}(\tau) d\tau \int_{-\infty}^{0} q_1(\xi, \tau) G_1(x, \xi, t - \tau) d\xi = \sum_1^3 J_i^{(1)}(x, t); \tag{17}$$

$$p_2^* = \int_0^1 f_2(\xi) G_2(x, \xi, t) d\xi - \lambda a^2 \int_0^t v(\tau) G_2(x, 0, t - \tau) d\tau -$$

$$F(\tau)\left[a^2 \frac{\partial}{\partial \xi} - \dot{z}(\tau)\right] G_2(x, z(\tau), t - \tau) d\tau + a^2 \int_0^t \psi(\tau) G_2(x, z(\tau), t - \tau) d\tau -$$

$$- \int_0^t \dot{z}(\tau) d\tau \int_0^{z(\tau)} q_2(\xi, \tau) G_2(x, \xi, t - \tau) d\xi = \sum_{i=1}^{5} J_i^{(2)}(x, t). \tag{18}$$

Переходя в (17), (18) к пределу при $x \to 0$ и учитывая первое из усло- (15), придем к интегральному уравнению типа Абеля относительно . Обращение этого уравнения дает

$$v(t) = \frac{1}{1 + \lambda a} \sum_{i=1} I_i(t), \tag{19}$$

$$I_1 = \int_{-\infty}^{0} f_1(\xi) G_1(0, \xi, t) d\xi; \quad I_2 = a \int_0^1 f_2(\xi) G_2(0, \xi, t) d\xi;$$

$$a \int_0^t F(\tau) G_2(0, z(\tau), t - \tau) d\tau; \quad I_4 = a^3 \int_0^t \psi(\tau) \frac{\partial}{\partial \xi} G_2(0, z(\tau), t - \tau) d\tau; \tag{20}$$

$$I_5 = \int_0^t \dot{z}(\tau) d\tau \int_{-\infty}^{0} q_1(\xi, \tau) \frac{\partial}{\partial \xi} G_1(0, \xi, t - \tau) d\xi;$$

$$I_6 = a\int_0^t \dot z(\tau)\,d\tau \int_0^{z(\tau)} q_2(\xi,\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}G_2(0,\xi,t-\tau)\,d\xi.$$

Вводя, далее, t, z и f_2 в (10) вместо τ, y и φ_2, без труда най

$$\dot F(t) = a^2\left[\dot f_2(0)\,G_2(0,-1,t) - f_2(0)\frac{\partial}{\partial\xi}G_2(0,-1,t)\right] +$$

$$+ a^2\int_{-1}^{0}\dot f_2(\xi+1)\,G_2(0,\xi,t)\,d\xi + a^2\int_0^t f(\tau)\frac{\partial^2}{\partial\xi\,\partial t}G_2(0,-z(\tau),t-\tau)\,d$$

$$-\int_0^t [a^2 v(\tau) - \dot z(\tau) f(\tau)]\frac{\partial}{\partial t}G_2(0,-z(\tau),t-\tau)\,d\tau +$$

$$+ a^2\int_0^t \dot\psi(\tau)\,G_2(0,0,t-\tau)\,d\tau \equiv R_0(t) + \sum_{j=1}^{4} J_{0j}.$$

Наконец, дифференцируя (17) и (18) по x, найдем после несложны образований, учитывающих (6)—(7) и (11), что

$$q_1(x,t) = \int_{-\infty}^{0}\dot f_1(\xi)\,g_1(x,\xi,t)\,d\xi - \int_0^t v(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}g_1(x,0,t-\tau)\,d\tau +$$

$$+\int_0^t \dot z(\tau)\,d\tau\int_{-\infty}^{0} q_1(\xi,\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}g_1(x,\xi,t-\tau)\,d\xi = \sum_{j=1}^{3} J_{1j};$$

$$q_2(x,t) = \int_0^0 \dot f_2(\xi)\,g_2(x,\xi,t)\,d\xi + \lambda a^2\int_0^t v(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}g_2(x,0,t-\tau)\,d\tau +$$

$$+\int_0^t \dot F(\tau)\,g_2(x,z(\tau),t-\tau)\,d\tau - a^2\int_0^t \psi(\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}g_2(x,z(\tau),t-\tau)\,d\tau +$$

$$+\int_0^t \dot z(\tau)\,d\tau\int_0^{z(\tau)} q_2(\xi,\tau)\frac{\partial}{\partial\xi}g_2(x,\xi,t-\tau)\,d\xi = \sum_{j=1}^{5} J_{2j}.$$

Система (19), (21), (22) и (23) замыкается уравнением (16), кото силу (8) может быть записано в виде

$$z(t) = 1 + \int_0^t v(\tau)\,d\tau,$$

и уравнением

$$f(t) = \sum_{i=1}^{3} J_i^{(1)}(0,t).$$

Систему (19) — (25) решаем методом последовательных приближ Именно, полагаем

$$f_{n+1}(t) = \Phi(v_n, q_{1n}, z_n, t);\quad \dot F_{n+1} = \Psi(v_n, z_n, f_{n+1}, t);$$
$$v_{n+1}(t) = V(v_n, z_n, \dot F_{n+1}, q_{1n}, q_{2n}, t);\quad \dot z_{n+1} = v_{n+1}(t);$$
$$q_{i,n+1}(x,t) = Q_i(v_{n+1}, z_{n+1}, q_{in}, \dot F_{n+1}, x, t).$$

Здесь Φ, Ψ, V, Q_1 и Q_2 — правые части уравнений (25), (21), (19), (22) и В качестве нулевых приближений берем произвольные огранич функции $\dot z_0$, v_0, q_{10} и q_{20}.

Сходимость процесса и единственность решения доказываются анало-
но тому, как это сделано в (4), на интервале $(0, T)$, зависящем от M
(6)) и $|y(0)|$*.

Эквивалентность построенного решения решению исходной задачи
анавливается следующим образом.

Доказывается, что построенные v, f, $\dot{F}$, q_1 и q_2 дифференцируемы,
ичем $\dot{v} = w/\sqrt{t}$; $\partial q_i/\partial t = s_i/\sqrt{t}$; $\partial q_i/\partial x = r_i/\sqrt{t}$; $\ddot{F} = F^0/\sqrt{t}$, где
s_i, r_i и F^0 ограничены при $t \geqslant 0$. Отсюда и из (17), (18) следует,
p_i^* удовлетворяют уравнениям (12) — (16) $(i = 1, 2)$ и, сверх того,

$$\lim_{x\to 0} p_i^* = f(t); \quad \lim_{x\to 0} q_1 = \lim_{x\to 0} \frac{\partial}{\partial x} p_1^* = v(t); \quad \lim_{x\to 0} q_2 = \lambda v(t);$$
$$\lim_{t\to 0} p_i^* = f_i(x) \quad (i = 1, 2).$$

Таким образом, остается показать, что

$$\lim_{x\to 0} p_2^* = f(t); \quad \lim_{x\to z(t)} p_2^* = F(t); \quad \lim_{x\to z(t)} \frac{\partial}{\partial x} p_2^* = \psi(t). \tag{27}$$

Допуская противное, найдем, что должны существовать ненулевые
шения системы

$$\mu(t) = 2\int_0^t \nu(\tau)\, g_2(z(t), z(\tau), t-\tau)\, d\tau -$$
$$- 2a^2 \int_0^t \mu(t)\, \frac{\partial}{\partial \xi} g_2(z(t), z(\tau), t-\tau)\, d\tau; \tag{28}$$

$$\nu(\tau) = \frac{a}{\sqrt{\pi}} \int_0^t \frac{\mu(\tau)}{\sqrt{t-\tau}}\, d\tau. \tag{29}$$

Обращая (29) и исключая $\mu(t)$ из (28), приходим к уравнению

$$\int_0^t \nu(\tau)\, \overline{K}(t, \tau)\, d\tau = 0 \tag{30}$$

дром $\overline{K}(t, \tau)$, удовлетворяющим условиям

$$\overline{K}(t, t) = \frac{\dot{z}(t)}{2a^2}; \quad \frac{\partial}{\partial t}\overline{K} = O\left(\frac{1}{\sqrt{t-\tau}}\right).$$

Поскольку, в силу второго из условий (7), $\dot{z}(0) \neq 0$, отсюда следует,
$\nu(\tau) \equiv 0$, а в силу (28) означает, что и $\mu(\tau) \equiv 0$.

Полученное противоречие и доказывает справедливость (27) и вместе
ем завершает доказательство утверждения эквивалентности.

В заключение заметим, что совершенно аналогично можно решить
ачу при задании на границе $\xi = 0$ не $\partial p_2/\partial \xi$, а p_2. При этом, как и
ше, существенным является допущение $y(0) \neq 0$.

Краснодарский филиал
Всесоюзного нефтегазового
научно-исследовательского института

Поступило
22 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Н. Веригин, Изв. АН СССР, ОТН, № 5 (1952). [2] J. Stefan, Zitr. Ber
n. Akad. Math. Nat. Geb., 98, 11a, 473 (1890). [3] Л. И. Рубинштейн, ДАН, 58,
(1947). [4] Л. И. Рубинштейн, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 11, № 1
7). [5] Л. И. Рубинштейн, ДАН, 62, № 2 (1948); 62, № 6 (1948).

* Требование $y(0) \neq 0$ (выраженное выше условием $y(0) = -1$) является сущест-
ным. Отказ от него потребовал бы проведения анализа, подобного проведенному
решении задачи Стефана (5).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

МЕХАНИ

Г. М. УЛАНОВ

ОБ ОДНОМ ОБОБЩЕНИИ ТЕОРИИ НАКОПЛЕНИЯ ОТКЛОНЕН И ПРИЛОЖЕНИИ ЕЕ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ АВТОКОЛЕБАНИЙ В ГЕНЕРАТОРАХ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 25 VII 1956)

В общем аспекте динамической точности систем автоматического ре лирования существенное значение приобретает теория накопления откло ний в линейных динамических системах при возмущениях, ограничен по модулю.

В работах Б. В. Булгакова [1] и др. [2–5] было показано, что ес внешние силы конечны, то демпфированная линейная система с постоянны параметрами не может получить неограниченных вынужденных колеба Однако при неблагоприятных условиях возмущения могут накапливат и становиться значительными. Б. В. Булгаков определил верхние преде отклонений системы в предположении, что внешние силы $f_\rho(t)$ связа условиями

$$|f_\rho(t)| \leqslant l \quad (\rho = 1, 2, \ldots, r),$$

а в остальном могут быть любыми однозначными и непрерывными фу циями времени t, имеющими достаточное число производных. Функц $f_\rho(t)$ могут обладать точками разрыва первого рода, но число их в люб конечном интервале времени t должно быть конечным.

В настоящее время в теории автоматического регулирования возника задачи определения накопления скорости, ускорений, интегралов и бо сложных функций регулируемой величины. Целью настоящей замет является подсчет накопленных отклонений сложных функций регулируем величины в предположении ограничения возмущения $f(t)$ по модулю и ограничения модуля производной возмущения $f(t)$, а также разработ графо-аналитического метода построения диаграммы накопления отклонен во времени.

Пусть устойчивая линейная система автоматического регулирован описывается уравнением

$$\Phi(s)\, L\{x(t)\} = g(s)\, L\{f(t)\},$$

где $\Phi(s)$ и $g(s)$ — полиномы по s (s — оператор Лапласа), причем степень полинома $\Phi(s)$ выше степени n полинома $g(s)$; $L\{x(t)\}$ и $L\{f(t)\}$ — л пласовы преобразования, соответственно, $x(t)$ и $f(t)$.

Рассмотрим вопрос о накоплении функций регулируемой величи вида $X(t)$:

$$X(t) = a_0 x(t) + a_1 \dot{x}(t) + \ldots + a_k \overset{k}{x}(t) + \\ + b_0 \int_0^t x(t)\,dt + \ldots + \underbrace{\int_0^t \ldots \int_0^t}_{r} x\,dt, \quad k < m - n,$$

воздействии на систему (1) возмущения $f(t)$, ограниченного по модулю: $) \leqslant l$.

Согласно (1) лапласово преобразование $X(t)$ равно:

$$L[X(t)] = \left[a_0 \frac{g(s)}{\Phi(s)} + a_1 s \frac{g(s)}{\Phi(s)} + \ldots + a_k s^k \frac{g(s)}{\Phi(s)} + \right.$$
$$\left. + \frac{b_0}{s} \frac{g(s)}{\Phi(s)} + \ldots + \frac{b_r}{s^r} \frac{g(s)}{\Phi(s)}\right] \cdot f(s). \qquad (3)$$

Используя теорему о свертке функций, получим выражение $X(t)$:

$$X(t) = \int_0^t \dot{H}(\tau) \cdot f(t-\tau)\, d\tau, \qquad (4)$$

$$t) = L^{-}[H(s)] = \left[a_0 \frac{g(s)}{\Phi(s)} + \ldots + a_k s^k \frac{g(s)}{\Phi(s)} + \frac{b_0}{s} \frac{g(s)}{\Phi(s)} + \ldots + \frac{b_r}{s^r} \frac{g(s)}{\Phi(s)}\right] \cdot \frac{1}{s} \qquad (5)$$

овная «суммарная переходная» функция системы.

Накопление функции $X(t)$ при ограничении модуля $f(t)$ определится овиями

$$|f(t-\tau)| = l, \quad \operatorname{sign} \dot{H}(t) = \operatorname{sign} f(t-\tau) \qquad (6)$$

всем интервале времени $0 - t$. Применяя условие накопления функции $t)$, найдем для каждого t последовательность моментов времени $_2, \ldots, t_n$, являющихся корнями уравнения $\dot{H}(t) = 0$. Тогда макси-льное накопленное значение функций $X(t)$ будет равно

$$_{\max\max} = \lim_{t\to\infty} l\{[H(t_1) - H(0)] - [H(t_2) - H(t_1)] + [H(t_3) - H(t_2)] - \ldots\}, \qquad (6a)$$

$H(t_i)$ — экстремумы «суммарной переходной» функции $H(t)$.

Построение диаграммы накопления отклонений $X_{\max}(t)$ легко выпол-тся по графику «суммарной переходной» функции $H(t)$. Диаграмма опления отклонений строится из увеличенных в L раз отрезков условной ммарной переходной» функции $H(t)$ при $\dot{H}(t) > 0$ и зеркально отображен-отрезков $H(t)$ при $\dot{H}(t) < 0$, припассовывая последовательно каждый езок «переходного процесса» в моменты времени $t_1, t_2, \ldots, t_n$.

Диаграмма накопления $X_{\max}(t)$ является монотонной кривой с точка-соответствующими моментам времени $t_1, t_2, \ldots, t_n$, в которых про-одная диаграммы накопления равна нулю. Диаграмма накопления лонений стремится к значению $X_{\max\max}$.

В случае ограничения возмущения $f(t)$ по модулю производной в фор-е (6а) величины $H(t_i)$ будут замещаться значениями экстремумов ветствующих условных «суммарных импульсных» функций системы (1).

Установим общность между автоколебаниями и установившимся про-сом накопления отклонений в ⅂ генераторах [6–20] и определим ампли-у и частоту возникающих колебаний на основании анализа процесса опления отклонений.

Пусть колебательный контур генератора n-го порядка находится под ействием импульса, поступающего от усилителя с обратной положи-ьной связью. Уравнение генератора

$$D(s) \cdot L\{\varphi(t)\} = L\{f[\dot{\varphi}(t)]\}, \qquad (7)$$

s — оператор Лапласа; $f(\dot{\varphi})$ — нелинейная характеристика усилителя.

$\varphi(t)$ может быть определена на основании интеграла Дюамеля

$$\varphi(t) = \int_0^t \dot{h}(\tau) f_1(t-\tau)\, d\tau,$$

где $h(t)$ — переходная функция колебательного контура; $f_1(t)$ — воз
ствие на колебательный контур.

Рассмотрим процесс накопления отклонений $\varphi(t)$ в колебатель
контуре генератора.

Процесс максимального накопления отклонений $\varphi(t)$ на интер
$0 - t$ может быть определен на основании следующего выражения
величины накопленного отклонения ([6–8, 12]):

$$\varphi_{\max\max} = l\{h(t_1) - [h(t_2) - h(t_1)] + [h(t_3) - h(t_2)] - \cdots\},$$

где $h(t_i)$ — экстремумы функции $h(t)$, l — модуль импульса.

В момент достижения системой (7) предельного максимального откл
ния производная

$$\frac{d\varphi_{\max\max}}{dt} = 0.$$

Таким образом, установившееся состояние системы будет характер
ваться тем, что последним в ряде импульсов является импульс, мен
щий свой знак при изменении знака скорости $\dot{\varphi}$.

Замечая, что установление автоколебания в ⅂ генераторах описыва
уравнениями

$$D(s)\cdot L[\varphi(t)] = +L, \quad \dot{\varphi} > 0;$$
$$D(s)\cdot L[\varphi(t)] = 0, \quad \dot{\varphi} < 0,$$

предельное состояние системы можно формально получить как уста
вившееся ее состояние под влиянием импульсов высотой $L/2$, синхр
ных со знаком скорости $\dot{\varphi}$.

Таким образом, предельный цикл, характеризующий автоколеба
⅂ генератора ([1]), соответствует установившемуся процессу, возникающ
при накоплении отклонений в том же колебательном контуре генератора
воздействии на него ограниченного по модулю возмущения $\bar{f}(t)$: $|\bar{f}(t)| =$

Легко видеть, что максимальное отклонение $\varphi_{\max\max}$ в генерато
возникает в случае ⅂ характеристики управляемого усилителя.

Определим период T и амплитуду A автоколебания. Предельным
клонением в процессе накопления отклонений является $^1/_2\varphi_{\max ma}$
$= {}^1/_2 l\{h(t_1) - [h(t_2) - h(t_1)] + [h(t_3) - h(t_2)] - \cdots\}$, следовательно,

$$A = {}^1/_2\varphi_{\max\max}.$$

Рассмотрение промежутка времени $t_{i+1} - t_i$, в течение которого з
импульса в процессе накопления отклонений не изменяется, показыва
что как для конечного, так и бесконечного интервала времени t пос
ним в ряду указанных импульсов является импульс продолжительнос
$0 - t_1$. Следовательно, в установившемся режиме колебания генерат
совершаются с периодом $T = 2t_1$, где t_1 — время достижения конту
максимальной величины (для систем автоматического регулирования
личины перерегулирования) в переходном процессе.

Очевидно, общее заключение об общности автоколебаний и преде
ного установившегося состояния колебаний системы в процессе нако
ния отклонений остается справедливым и для многопериодических коле

й ([19]), так как оба предельных состояния определяются аналогичными авнениями.

Генераторы с ⅂ характеристикой являются примерами физических и хнических систем, в которых достигаются (и реализуются) движения максимально возможным накопленным отклонением.

Институт автоматики и телемеханики
Академии наук СССР

Поступило
25 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. В. Булгаков, ДАН, **51**, № 5 (1946). [2] А. И. Лурье, Операционное числение, 1950. [3] Н. Г. Чеботарев, Автомат. и телемех., № 5 (1948). [4] Г. М. Уланов, Автомат. и телемех., № 3 (1948). [5] Н. Д. Моисеев, Тр. рен.-возд. инж. акад., в. 135 (1945). [6] А. А. Андронов, С. Э. Хайкин, Тео- ия колебаний, 1937. [7] Б. Ван-дер-Поль, Нелинейная теория электрических олебаний, 1935. [8] А. И. Берг, Теория и расчет ламповых генераторов, 1932. [9] Н. М. Крылов, Н. Н. Боголюбов, Введение в нелинейную механику, 1937. [10] Н. Н. Боголюбов, Ю. Л. Митропольский, Асимптотические методы в ории нелинейных колебаний, 1955. [11] Б. В. Булгаков, Прикладная теория ги- роскопов, 1938. [12] Б. В. Булгаков, Колебания, 1951. [13] В. С. Кулеба- ин, ДАН, **68**, № 5 (1949). [14] Теория автоматического регулирования, под ред. В. В. Со- одовникова, 1954. [15] Б. Н. Петров, Тр. 2-го Всесоюзн. совещ. по теории автома- ического регулирования, Изд. АН СССР, 1954. [16] Г. М. Уланов, ДАН, **102**, № 3 1955). [17] Я. З. Цыпкин, Переходные и установившиеся процессы в импульсных епях, 1951. [18] Г. М. Уланов, ДАН, **102**, № 4 (1955). [19] Ю. И. Неймарк, втомат. и телемех., № 3 (1955). [20] Б. А. Рябов, ДАН, **71**, № 4 (1950).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГИДРОМЕХАНИКА

Г. А. ДОМБРОВСКИЙ

О ПЕРИОДИЧНОСТИ СТРУИ, ВЫХОДЯЩЕЙ ИЗ СИММЕТРИЧНОГО СОПЛА НА РАСЧЕТНОМ РЕЖИМЕ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 8 X 1956)

1. В настоящей статье рассматривается плоская задача о сверхзвуковом истечении газа из симметричного сопла на расчетном режиме и исследуется вопрос о периодичности струи в случае отсутствия в потоке скачков уплотнения (рис. 1). Исследование проводится приближенными аналитическими методами, основанными на замене в уравнениях

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\xi}=-\sqrt{K_1}\frac{\partial\psi}{\partial\xi},\quad \frac{\partial\varphi}{\partial\eta}=\sqrt{K_1}\frac{\partial\psi}{\partial\eta} \tag{1}$$

функции Чаплыгина $K_1(t)$ для адиабатического течения (1) функциями более простого вида. В уравнениях (1) φ — потенциал скорости, ψ — функция тока,

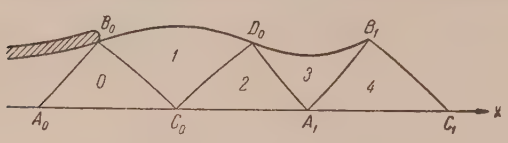


Рис. 1

$$\xi=\tfrac{1}{2}(t-\vartheta),\quad \eta=\tfrac{1}{2}(t+\vartheta) \tag{2}$$

характеристические переменные, причем ϑ — угол наклона вектора скорости к оси X и t — переменная вместо модуля скорости.

Движение газа в сопле считаем известным; при этом в области $A_0B_0C_0$, границей которой являются две характеристики разных семейств, выходящих из B_0, и отрезок A_0C_0 оси X, якобиан

$$J=\frac{\partial(\varphi,\psi)}{\partial(v,\vartheta)}=\left[K_1^{-1/2}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2-K_1^{1/2}\left(\frac{\partial\psi}{\partial t}\right)^2\right]\frac{dt}{dv}=-K_1^{1/2}\frac{\partial\psi}{\partial\xi}\frac{\partial\psi}{\partial\eta}\frac{dt}{dv} \tag{3}$$

принимает конечные значения и отличен от нуля.

Вследствие симметрии относительно оси X достаточно рассмотреть только верхнюю половину течения; рассматриваемому газовому потоку справа от характеристики A_0B_0 отвечает в плоскости (t,ϑ) область, изображенная на рис. 2. Она ограничена отрезками характеристик

$$\begin{aligned}&\xi=\xi_1=\tfrac{1}{2}(t^*+\vartheta^*),\quad \xi=\xi_2=\tfrac{1}{2}(t^*-\vartheta^*),\\ &\eta=\eta_1=\tfrac{1}{2}(t^*+\vartheta^*),\quad \eta=\eta_2=\tfrac{1}{2}(t^*-\vartheta^*),\end{aligned} \tag{4}$$

где t^* — постоянное значение t на поверхности струи и ϑ^* — угол наклона вектора скорости на выходе из сопла в точке B_0. Для соответствующих точек на рис. 1 и 2 приняты одинаковые обозначения.

2. При $K_1=\text{const}$ имеем

$$\psi=f_1(\xi)-f_2(\eta), \tag{5}$$

где $f_1(\xi)$ и $f_2(\eta)$ — произвольные функции характеристических переменных. Эти функции определяются путем последовательного разрешения

аевых задач с известными данными на характеристике и условием на ободной поверхности и задач с известными данными на характеристике условием $\psi = 0$ при $\vartheta = 0$ ([2]). В результате получаем следующие ения, соответственно, для областей *0 — 4*:

$$f_1^{(0)}(\xi) = f(\xi), \quad f_2^{(0)}(\eta) = f(\eta); \tag{6}$$

$$(\xi) = f(\xi), \quad f_2^{(1)}(\eta) = f(t^* - \eta) + f(\xi_1) - f(\xi_2); \tag{7}$$

$$f_1^{(2)}(\xi) = f(t^* - \xi), \quad f_2^{(2)}(\eta) = f(t^* - \eta); \tag{8}$$

$$(\xi) = f(t^* - \xi), \quad f_2^{(3)}(\eta) = f(\eta) + f(\xi_1) - f(\xi_2); \tag{9}$$

$$f_1^{(4)}(\xi) = f(\xi), \quad f_2^{(4)}(\eta) = f(\eta), \tag{10}$$

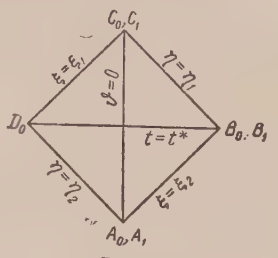


Рис. 2

е f — известная функция.

Сопоставляя (6) и (10), убеждаемся, что при $K_1 = \text{const}$, т. е. когда иабата в плоскости давления—удельный объем заменяется прямой; зовая струя, выходящая из сопла, имеет строго периодический характер. Точность решения задачи повысится, если применить приближенный тод С. А. Христиановича ([3]), где принято

$$K_1 = \text{const} \cdot t^4, \tag{11}$$

поэтому для функции тока имеем

$$\psi = \frac{f_1(\xi) - f_2(\eta)}{\xi + \eta}. \tag{12}$$

Легко проверить, что функции (6)—(10) являются решениями рассматриваемой задачи и в этом случае, и, следовательно, течение в струе риодически повторяется.

При достаточно малых значениях ϑ^*, когда с успехом могут быть именены две рассмотренные выше аппроксимации адиабаты, струя действительности имеет структуру, близкую к периодической.

3. Покажем теперь, что применение метода, предложенного ранее тором ([1–7]), не приводит к периодическому решению, и более того, что прерывное потенциальное течение на достаточно большом расстоянии сопла вообще существовать не может.

В предложенном приближенном методе

$$K_1 = (n \operatorname{tg} mt)^4 \tag{13}$$

соответственно,

$$\psi = \frac{1}{n}\left\{m\left[-f_1(\xi) + f_2(\eta)\right] + \frac{\operatorname{ctg} mt}{2}\left[-f_1'(\xi) + f_2'(\eta)\right]\right\}, \tag{14}$$

е n и m — произвольные постоянные, значения которых устанавливаются условия наилучшего приближения к адиабатическому течению газа. ппроксимация адиабаты получается более высокой, чем в рассмотренных ыше методах, и, в частности, можно получить третий порядок касания иабаты и кривой давление — плотность, отвечающей фиктивному газу.

Искомые функции $f_1(\xi)$ и $f_2(\eta)$ определяются путем последовательного шения краевых задач для областей *1—4* ([5,7]). В области $A_0B_0C_0$ бласть *0*) имеем

$$f_1^{(0)}(\xi) = f(\xi), \quad f_2^{(0)}(\eta) = f(\eta), \tag{15}$$

е

$$f(\eta) = 2n\cos^2 m(\xi_2 + \eta) \int_{\eta_2}^{\eta} \frac{\sin m(\xi_2 + \eta)}{\cos^3 m(\xi_2 + \eta)} \widetilde{\psi}(\eta)\, d\eta, \tag{16}$$

причем на характеристике A_0B_0 функция тока принимает известные зн
чения $\psi = \widetilde{\psi}(\eta)$.

В области $B_0C_0D_0$

$$f_1^{(1)}(\xi) = f(\xi), \quad f_2^{(1)}(\eta) = -f(t^* - \eta) + 2be^{-b\eta}\int_{\eta_1}^{\eta} f(t^* - \eta)\, e^{b\eta} d\eta + c_1 e^{-b\eta} + c_2, \quad (1$$

где

$$c_1 = \frac{f'(\xi_2) - f'(\xi_1) + 2bf(\xi_2)}{be^{-b\eta_1}}, \quad (1$$

$$c_2 = [f(\xi_1) - f(\xi_2)] + \frac{1}{b}[f'(\xi_1) - f'(\xi_2)]. \quad (1$$

Здесь и в дальнейшем для сокращения записи принято обозначен
$b = 2m \operatorname{tg} mt^*$.

В области $C_0D_0A_1$

$$f_1^{(2)}(\xi) = f_2^{(1)}(\xi), \quad f_2^{(2)}(\eta) = f_2^{(1)}(\eta). \quad (2$$

В области $D_0A_1B_1$

$$f_1^{(3)}(\xi) = f_1^{(2)}(\xi), \quad f_2^{(3)}(\eta) = f(\eta) + c_3 e^{-b\eta} + 2c_2, \quad (2$$

где

$$c_3 = \int_{\eta_1}^{\eta_2} [F(\eta) + F(t^* - \eta)]\, e^{b\eta}\, d\eta, \quad F(\eta) = f'(\eta) + \frac{1}{b} f''(\eta). \quad (2$$

Наконец, в области $A_1B_1C_1$

$$f_1^{(4)}(\xi) = f(\xi) + c_3 e^{-b\xi}, \quad f_2^{(4)}(\eta) = f(\eta) + c_3 e^{-b\eta}. \quad (2$$

Принимая функции (23) в качестве исходных, можно аналогично пр
дыдущему получить решения для области 8 в виде

$$f_1^{(8)}(\xi) = f(\xi) + 2c_3 e^{-b\xi}, \quad f_2^{(8)}(\eta) = f(\eta) + 2c_3 e^{-b\eta}, \quad (2$$

и, следовательно, в общем случае для области $4k$ ($k = 1, 2, \ldots$) имее

$$f_1^{(4k)}(\xi) = f(\xi) + kc_3 e^{-b\xi}, \quad f_2^{(4k)}(\eta) = f(\eta) + kc_3 e^{-b\eta}. \quad (2$$

Если производная $d\widetilde{\psi}/d\eta$, как и якобиан J, на A_0B_0 сохраняет знак
то с помощью (16) легко установить, что функция $F(\eta)$ на A_0B_0 такж
сохраняет знак и не равна тождественно нулю. Поэтому $c_3 \neq 0$ и, в от
личие от предыдущих результатов, для струи получается непериодическ
решение.

Исследуя якобиан

$$J = \frac{\partial(\varphi, \psi)}{\partial(v, \vartheta)} = \left[\frac{\operatorname{ctg}^2 mt}{n^2}\left(\frac{\partial\varphi}{\partial t}\right)^2 - n^2 \operatorname{tg}^2 mt \left(\frac{\partial\psi}{\partial t}\right)^2\right]\frac{dt}{dv}, \quad (26$$

можно показать, что при больших значениях k полученные решени
теряют физический смысл. Действительно, в точке B_k ($\varsigma = \xi_2$, $\eta = \eta_1$)

$$J_{B_k} = \left\{\left[-m\cos 2mt^* f'(\eta_1) + \frac{\sin 2mt^*}{2} f''(\eta_1)\right] + kbmc_3(e^{-b\eta_1} - e^{-b\xi_2})\right\} \times$$

$$\times \left\{\left[mf'(\eta_1) + \frac{\sin 2mt^*}{2} f''(\xi_2)\right] - kbmc_3(e^{-b\eta_1} - e^{-b\xi_2})\right\} \frac{dt/dv}{\sin^2 2mt^*}, \quad (27$$

при достаточно большом k это выражение становится отрицательным, то время как на A_kC_k якобиан больше нуля (здесь $\partial\psi/\partial t = 0$ и всегда $dv > 0$). Таким образом, на некоторой линии якобиан обязательно обращается в нуль.

Математический институт
им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
1 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. И. Седов, Плоские задачи гидродинамики и аэродинамики, 1950. [2] Chu-g Feng-Kan, Acta Şci. Sinica, **4**, № 2 (1955). [3] С. А. Христианович, икл. матем. и мех., **11**, 2 (1947). [4] Г. А. Домбровский, Сборн. под ред. И Седова, Теоретическая гидромеханика, № 11, в. 3 (1953). [5] Г. А Домбров-ий, Сборн. под ред. Л. И. Седова, Теоретическая гидромеханика, № 12, в. 4 (1954). . А. Домбровский, ДАН, **103**, № 1 (1955). [7] Г. А. Домбровский, Н, **107**, № 6 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

АСТРОНОМИЯ

Б. Ю. ЛЕВИН и Г. Л. СЛОНИМСКИЙ

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ МЕТЕОРИТНЫХ ХОНДР

(Представлено академиком В. А. Каргиным 20 XI 1956)

Около 90% каменных метеоритов являются хондритами, т. е. они состоят из силикатных шариков — хондр, связанных цементирующей массой. Диаметры хондр весьма различны — от микроскопических размеров до миллиметров. Наряду с кристаллическими минералами — оливином и пироксенами, в хондрах имеется стекло, количество которого убывает при метаморфических изменениях метеоритов. Изредка встречаются чисто стеклянные хондры.

Вследствие наличия в хондрах стекла их образование обычно объясняют быстрым застыванием силикатных капель, возникающих либо при распаде (под действием каких-то внутренних сил) одной планеты родоначальницы метеоритов ([1]), либо при столкновениях многих тел астероидного типа ([2]). Гипотеза распада (или «взрыва») планеты физически не обоснована и требует дополнительных искусственных усложнений для объяснения структурных особенностей метеоритов ([3]). Столкновения тел астероидного типа, несомненно, играли важную роль в эволюции метеоритного вещества, но, как нам представляется, не при образовании хондр, а на более поздних стадиях.

И в гипотезе распада планеты-родоначальницы и в гипотезе столкновения астероидных тел предполагается, что недра этой планеты или этих тел были раскалены и что в них произошла дифференциация вещества. Однако объяснение разогрева наталкивается на большие трудности. Химический состав метеоритов показывает, что образование тел, обломками которых они являются, началось с аккумуляции твердых частиц, протекавшей при низких температурах ([4]). Следовательно, раскаленное состояние недр не может быть связано с этим процессом. Возрасты метеоритов (найденные по неметаморфизованным образцам) достигают 4,5—4,8 млрд. лет. Хондры образовались еще раньше и, поскольку возраст солнечной системы, по-видимому, не превосходит $5^1/_2$ млрд. лет, таким образом оказывается, что промежуток времени от формирования родительской планеты или астероидных тел до образования хондр очень мал — приблизительно $^1/_2$ млрд. лет. Считая, что радиогенного тепла, выделившегося за это время, недостаточно для разогрева, Юри и Донн ([5]) выдвинули гипотезу о химическом разогреве вещества, породившего хондры. Они допускают, что при аккумуляции родительских тел в их состав вошли в заметном количестве химически неустойчивые соединения, которые затем перешли в устойчивые с выделением энергии.

Данные о химическом составе метеоритов играют важную роль в обосновании современного представления, что планеты и астероиды образовались из околосолнечного газово-пылевого облака. Независимо от различий в предполагаемом ходе процесса формирования планет, возникает проблема изучения процессов конденсации вещества, протекавших в таком облаке. Как будет показано ниже, рассмотрение конденсации тех молекул, которые образуют силикаты, т. е. тугоплавкие вещества, открывает новые возможности для объяснения происхождения хондр.

В условиях практически нулевого давления первичным актом конденции является образование твердой частицы из газовой фазы. В протонетном облаке конденсация силикатных веществ протекала при температурах намного более низких, чем температуры их плавления. Это позволит опереться на представления о процессе возникновения новой фазы из ресыщенного раствора, развитые недавно З. Я. Берестневой и В. А. Карым ([6]). На обширном экспериментальном материале ими было показано, в пересыщенном растворе прежде всего образуются шарообразные или форменные частицы, имеющие аморфную структуру, характерную для кол. Эти частицы, естественно, неравновесны и в дальнейшем кристалуются со скоростью, зависящей от их химической природы и внешних овий (в первую очередь — температуры). Возникновение аморфных тиц объясняется тем, что в условиях пересыщенного раствора каждое лкновение молекул, атомов или ионов ведет к слипанию, причем обънение их в порядке, соответствующем кристаллической решетке, не успет произойти. В дальнейшем рост такого аморфного центра приводит бразованию шарообразной аморфной частицы, так как налипание молеатомов или ионов равновероятно во всех направлениях. Когда температура пересыщенного раствора намного ниже температуры размягчения азующихся стеклообразных частиц, кристаллизация последних может исходить спустя значительное время. Так например, начало кристалзации частиц золота при комнатной температуре наблюдалось через 5 мин., двуокиси титана — через 1—2 часа, гидроокиси алюминия — ез сутки после их образования, а шарики кремнекислоты оставались рфными даже через год.

Эти представления имеют силу и для образования твердой фазы из газофазы, т. е. они применимы к протопланетному газово-пылевому облаку. том облаке имелись молекулы окислов металлов и кремния и молекулы икатов. При столкновениях подобного рода молекул должны получаться рдые частицы с высокими температурами плавления. В свете приведенх данных первичные частицы силикатов должны быть аморфными близкими к шарообразной форме.

При образовании коллоидных частиц в растворах размеры первичных риков весьма малы вследствие быстрого загрязнения поверхности растух частиц примесями электролитов, в большом количестве присутствующих в растворе. В условиях протопланетного облака, где подобного рода можение роста частиц почти отсутствует, их размеры, естественно, жны получиться весьма различными и достигать значительной величины, мы и наблюдаем у хондр. Редкие случаи, когда внутри большой хондры лючена меньшая, могут объясняться повторным попаданием хондры лой) в область протопланетного облака, в которой происходит конденция.

Изучение хондр приводит к заключению ([7]), что их кристаллизация прошла уже в метеоритах. Наличие среди них полностью или частично кловидных хондр показывает, что в некоторых случаях процесс кристалзации оказывается крайне замедленным. Такая возможность подтверждается экспериментальными данными о скорости кристаллизации коллоидх частиц кремнекислоты при комнатной температуре: в течение более года они остаются полностью аморфными, и только через два года ле их образования тонкое электронографическое исследование обнаруживает еле заметные признаки начала кристаллизации. Учитывая резкую исимость скорости кристаллизации от температуры, и используя данные по кристаллизации силикатных и других аморфных частиц, можно азать, что у метеоритов, находящихся бо́льшую часть времени при пониных температурах, кристаллизация должна была в некоторых случаях януться на миллионы и миллиарды лет.

Конденсация газовых молекул, ведущих к образованию аморфных клянных) хондр, должна протекать в известной степени селективно,

чем и объясняется довольно однородный состав вещества хондр. Они со держат в основном силикаты (оливин и пироксены) и алюмосиликаты (пла гиоклаз). Что же касается так называемых оливиновых хондр, то их моно минеральность, вероятно, только кажущаяся, так как в них всегда присут ствует стекло неопределенного состава. При кристаллизации первоначаль но аморфной хондры вначале может происходить разрастание решетк одного определенного минерала с оттеснением других силикатных молеку в стекло. В дальнейшем начинается кристаллизация и других минералов так что полностью раскристаллизованные хондры, по-видимому, всегд являются полиминеральными.

Авторы считают, что предлагаемая гипотеза о происхождении силикат ных хондр снимает некоторые трудности, встречаемые ныне в проблем происхождения метеоритов, и потому заслуживает дальнейшей разработки В частности, представляется необходимым изучение фактических данны о составе и структуре хондр с точки зрения соображений, изложенны выше, а также проведение лабораторных исследований процесса образова ния твердых частиц из газовой фазы при низких температурах и давлениях

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта и
Институт элементоорганических соединений
Академии наук СССР

Поступило
19 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. Н. Заварицкий, Тр. I Совещ. по космогонии, Изд. АН СССР, 195 [2] H. C. Urey, H. Craig, Geochim. et Cosmochim. Acta, **4**, № 1—2, 36 (1953) [3] Б. Ю. Левин, Метеоритика, в. 11, 47 (1954). [4] H. C. Urey, Ap. J., Suppl., 147 (1954). [5] H. C. Urey, B. Donn, Ap. J., **124**, № 1, 307 (1956). [6] З. Я. Бер стнева, В. А. Каргин, Усп. хим., **24**, № 3, 249 (1955). [7] А. Н. Заварицкий, Л. Г. Кваша, Метеориты СССР, Изд. АН СССР, 1952.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИКА

Е. Б. БАЖАНОВ, Ю. М. ВОЛКОВ, академик АН УССР А. П. КОМАР, Л. А. КУЛЬЧИЦКИЙ и В. П. ЧИЖОВ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЫСТРЫХ ФОТОПРОТОНОВ ИЗ Ni и Al

В экспериментах по фоторасщеплению ядер γ-квантами высоких энер- ~ 200—300 Мэв ([1-6]) установлены резкая асимметрия в угловом распре- ении протонов большой энергии с максимумом почти в направлении ка γ-квантов и резкий излом в энергетическом распределении, постро- ом в дважды логарифмическом масштабе, при энергиях протонов вблизи овины максимальной энергии тормозного излучения. Эти факты и сече- процессов качественно объясняются поглощением γ-квантов «квази- тонами» в ядре ([7]). Последние опыты по блюдению n — p-совпадений при фоторас- плении ядер ([8-10]) также находятся в каче- енном согласии с «квазидейтонной» мо- ью.

Из выполненных к настоящему времени бот ([11, 12]), в которых исследовались фото- отоны высоких энергий при облучении ер γ-квантами с максимальной энергией 65 Мэв, нельзя прийти к определенным лючениям о механизме (γ, p)-реакции в й области энергий γ-квантов.

В настоящей работе методом сцинтилля- онного телескопа исследовались угловое и ргетическое распределения быстрых фо- ротонов из Ni и энергетическое распреде- ие фотопротонов из Al, облученных тормоз- м спектром γ-квантов с $E_{\gamma max} = 85 \pm 5$ мэв. лескоп состоял из переднего тонкого кри- алла CsJ (Tl) толщиной 0,026 см и заднего исталла NaJ (Tl) толщиной 1,65 см, нтированных на фотоумножителях типа У-19М. Импульсы переднего счетчика, про- циональные dE/dx частицы, и заднего счет- ка, пропорциональные E, анализировались тветственно пятиканальным интегральным и пятиканальным дифференци- ным дискриминаторами, выходы каналов которых подключались к схемам йных совпадений с разрешающим временем $\tau \approx 1 \cdot 10^{-6}$ сек. На третьи ды схем подавались импульсы с двойной схемы совпадений импульсов еднего и заднего счетчиков с $\tau \approx 1{,}5 \cdot 10^{-7}$ сек., причем эти двойные падения открывались ключевой схемой для счета и для подачи на схемы йных совпадений только на время сброса электронов на внутреннюю ень синхротрона. Передний счетчик градуировался по дейтонам от лотрона ЛФТИ, задний — по фотопику от γ-квантов источника Cs^{137}. нейность фотоумножителей проверялась по соотношению между импуль- и от фотопика Cs^{137} и от линий α-частиц ThC′ при разных напряжениях

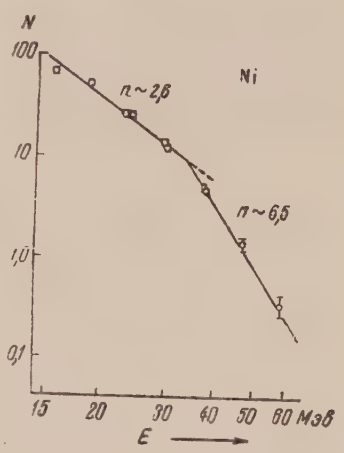


Рис. 1. Энергетическое распределение фотопротонов из Ni. По оси ординат отложены числа протонов на интервал 1 Мэв, приведенные к единице счетов монитора, в произвольных единицах. Указаны только статистические ошибки

на фотоумножителях. Разрешающая способность счетчиков по амплитуд на импульсах от α-частиц ThC′ была равна 10—12%. Для исключения счет импульсов от накладывающихся рассеянных электронов длительнос импульсов тормозного излучения растягивалась до 1 мсек. При рабоч смещениях на дискриминаторах числа счетов совпадений на едини отсчетов монитора оставались одинаковы в пределах статистической ошибки при и менении интенсивности в 6 раз. Это указ вало на нечувствительность телескопов импульсам от рассеянных электронов. С на пятиканального дифференциального ди криминатора, анализирующего импульсы за него счетчика, устанавливались так, чтобы н нал считал протоны в интервале $\Delta E/E \approx 20$ На дискриминаторе переднего счетчика танавливались соответствующие смещени Энергии протонов задавались как напряж нием на фотоумножителях, так и медны поглотителями. При определенном напряж нии на фотоумножителях измерялись 5 чис счетов протонов, которые приводились единице энергетического интервала и к ед нице отсчетов монитора. Следующие 5 ч сел счетов измерялись при другом напряж нии на фотоумножителях, причем приведе ные числа счетов, соответствующие один ковым средним энергиям протонов в эт двух измерениях, хорошо совпадали. Хорош совпадение соответствующих приведенных ч сел счетов получалось и при изменении энергии протонов с помощью погл тителей, что свидетельствует о правильной градуи ровке и работе телескопа.

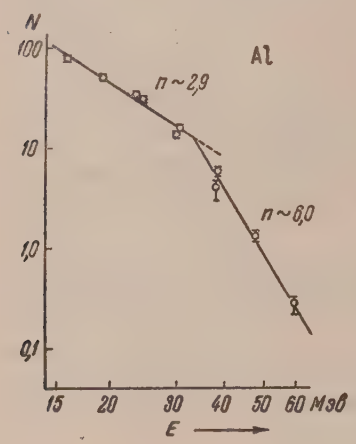


Рис. 2. Энергетическое распределение фотопротонов из Al. По оси ординат отложены числа протонов на интервал 1 Мэв, приведенные к единице счетов монитора, в произвольных единицах. Указаны только статистические ошибки

Энергетические потери протонов в поглотителях и переднем кристалле рассчитывались по данным работы ([13]). Расчеты энергетических потерь протонов в меди хорошо согласуются с расчетами по кривым пробег — энергия протонов в меди, приведенным в работе ([14]).

На рис. 1 и 2 представлены кривые энергетических распределений протонов, вылетающих под 90° к пучку в лабораторной системе из Ni и Al, изображенные, как принято, в дважды логарифмическом масштабе. По осям ординат отложены числа счетов протонов на единицу энергетического интервала (1 Мэв) на единицу счетов монитора в произвольных относительных единицах. Видно, что энергетические распределения протонов из обоих элементов имеют одинаковый вид: $f(E_p) \sim E_p^{-n}$, где значение n для части спектра протонов с энергиями выше 33 Мэв превосходит значение n для спектра протонов с меньшими энергиями более, чем в 2 раза. Положени изломов в энергетическом спектре согласуются с рассчитанными по теори фоторасщепления статического дейтона. Надо отметить, что энергетически спектр быстрых протонов из Al, полученный в ([12]) при облучении тор мозным излучением с $E_{\gamma_{max}} \approx 65$ Мэв, обнаруживает излом, плохо согла сующийся с этой теорией, а протоны с энергиями вблизи предсказы ваемого теорией излома вообще не измерялись.

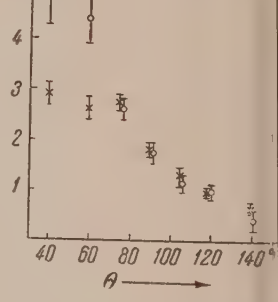


Рис. 3. Угловые распр деления фотопротонов Ni. Крестики — протон 20—33 Мэв; светлые тос ки—протоны 33—65 Мэ Ошибки статистически

На рис. 3 представлены угловые распределения быстрых протонов Ni
бораторной системе, облученного тормозным излучением с $E_{\gamma_{max}} = 85 \pm$
Мэв, для двух интервалов энергий протонов: 20—33 и 33—65 Мэв. При
строении точки под 120° к пучку приравнивались друг другу. Видно,
степень асимметрии в угловом распределении возрастает с увеличе-
м энергии протонов.

Характер полученных энергетических и угловых распределений быстрых
опротонов, произведенных тормозным излучением с $E_{\gamma_{max}} \approx 85$ Мэв,
одит на мысль о применимости «квазидейтонной» модели в этой области
ргий γ-квантов.

Ленинградский физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило
23 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] C. Levinthal, A. Silverman, Phys. Rev., **82**, 822 (1951). [2] D. Wa l-
, Phys. Rev., **81**, 634 (1951); **84**, 149 (1951). [3] I. C. Keck, Phys. Rev., **85**, 410
2). [4] I. Rosengren, I. M. Dudley, Phys. Rev., **89**, 603 (1953). [5] I. W.
i l, B. D. McDaniel, Phys. Rev., **90**, 380 (1953). [6] B. T. Feld, R. D. God-
e et al., Phys. Rev., **94**, 1000 (1954). [7] I. S. Levinger, Phys. Rev., **84**, 43
1). [8] M. Q. Barton, I. H. Smith, Phys. Rev., **95**, 573 (1954). [9] H. Myers,
Odian, P. C. Stein, A. Wattenberg, Phys., Rev., **95**, 576 (1954).
. Odian, P. C. Stein, A. Wattenberg, B. T. Feld, Phys. Rev., **102**,
(1956). [11] S. Johansson, Phys. Rev., **97**, 434 (1955). [12] M. M. Hoffman,
G. Cameron, Phys. Rev., **92**, 1184 (1953). [13] J. Lindhard, M. Scharff,
Danske Widensk. Selsk. Mat. f. Medd., **27**, 15 (1953). [14] Экспериментальная ядерная
ика, под ред. Сегре, ИЛ, **2**, 1955, стр. 182.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИК

Ю. А. ГОЛЬФАНД

ФЕРМИ-ПОЛЯ И СПИНОРЫ БЕСКОНЕЧНОМЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА

(Представлено академиком И. Е. Таммом 21 XI 1956)

Развитие функциональных методов в квантовой теории поля позволил свести задачу об определении функции распространения системы взаим действующих частиц к задаче об определении функции распространени фермиона, движущегося в произвольном внешнем поле соответствующ бозе-частиц, и последующему функциональному интегрированию по этом внешнему полю ([1–3]). Однако фактическое осуществление этой программ наталкивается на чрезвычайно серьезные математические трудности, и сих пор на этом пути не удалось достичь сколько-нибудь серьезного успех В настоящей заметке рассматривается новый аспект данной проблем выявляющий несколько неожиданную связь теории ферми-полей с теори спиноров бесконечномерного пространства.

Для конкретности мы будем говорить о квантовой электродинамик хотя все результаты непосредственно переносятся в любой вариант мезо ной теории.

Запишем оператор квантованного электронно-позитронного поля $\psi($ в представлении взаимодействия в виде

$$\psi(x) = \sum u_n(x)\, a_n,$$

где $u_n(x)$ — полная ортонормированная система решений уравнения Д рака, а a_n, в зависимости от знака энергии, — либо операторы уничтож ния электрона, либо операторы рождения позитрона, удовлетворяющ обычным перестановочным соотношениям

$$[a_m, a_n]_+ = \delta_{mn}.$$

Введем величины $\Gamma_{n\alpha}$ ($\alpha = 1, 2$):

$$\Gamma_{n1} = a_n + a_n^+, \quad \Gamma_{n2} = \frac{1}{i}(a_n - a_n^+).$$

При помощи (2) легко убедиться в справедливости перестановочны соотношений

$$\Gamma_{m\alpha}\Gamma_{n\beta} + \Gamma_{n\beta}\Gamma_{m\alpha} = 2\delta_{mn}\delta_{\alpha\beta}.$$

В дальнейшем для сокращения записи мы будем иногда обозначать сло ные индексы типа $(n\alpha)$ одной буквой: A, B и т. д.

Соотношения (4) позволяют при помощи величин Γ_A построить спино ное представление группы вращений бесконечномерного евклидова пр странства, E_∞, т. е. группы линейных преобразований над переменн ми x_A, оставляющих инвариантной квадратичную форму $\sum x_A^2$. Операто бесконечно малых вращений («моменты») в этом представлении имеют в

$$M_{AB} = \frac{1}{4i}(\Gamma_A\Gamma_B - \Gamma_B\Gamma_A),$$

пинорами являются векторы состояния поля Ψ. Это определение спи-
ров является непосредственным обобщением на бесконечномерный случай
ределения Картана спиноров евклидова пространства n измерений ([4]).
изь особенно ясно выявляется в представлении чисел заполнения.

При помощи операторов (5) можно представить произвольное враще-
е S в виде

$$S = \exp\left\{i \sum S_{AB} M_{AB}\right\}, \tag{6}$$

S_{AB} — произвольная антисимметричная действительная матрица.

Рассмотрим связь между спинорным и векторным представлениями
щений пространства E_∞. Для определения преобразования вектора,
ответствующего вращению S, заметим, что величина Γ_A должна пре-
разовываться как вектор пространства E_∞, т. е. должны выполняться
тношения

$$S^{-1}\Gamma_A S = \sum V_{AB}\Gamma_B, \tag{7}$$

V_{AB} — матрица ортогонального преобразования пространства E_∞.
ратно, если задано преобразование V, то соответствующее ему пре-
разование S имеет вид

$$S = \exp\left\{\frac{i}{2} \sum (\ln V)_{AB} M_{AB}\right\}. \tag{8}$$

Покажем, что движение электрона во внешнем электромагнитном поле
(x) описывается вращением пространства E_∞ типа (6). Общее решение
авнения Шредингера может быть построено, если известен оператор
$t, t_0)$, удовлетворяющий уравнению

$$i \frac{\partial S(t, t_0)}{\partial t} = H(t) S(t, t_0) \tag{9}$$

начальному условию

$$S(t_0, t_0) = I.$$

Гамильтониан $H(t)$ в нашем случае имеет вид

$$H(t) = \frac{e}{2} \int [\bar{\psi}(x), \gamma_\mu \psi(x)] A_\mu(x)\, d^3x.$$

С помощью (1), (3) и (5) преобразуем $H(t)$ к виду

$$H(t) = -\sum \operatorname{Im}\{\varepsilon_{\alpha\beta} W_{mn}(t)\} M_{m\alpha,\, n\beta}, \tag{10}$$

е

$$W_{mn}(t) = \frac{e}{2} \int \bar{u}_m(x) \gamma_\mu u_n(x) A_\mu(x)\, d^3x,$$

матрица

$$\| \varepsilon_{\alpha\beta} \| = \begin{pmatrix} 1 & i \\ -i & 1 \end{pmatrix}.$$

Из (10) видно, что $H(t)$, как линейная комбинация операторов (5),
ляется оператором бесконечно малого вращения пространства E_∞. По-
му оператор $S(t, t_0)$ будет конечным вращением этого пространства и,
едовательно, может быть представлен в форме (6).

Соотношения между спинорным и векторным представлениями прояв-
ются в теории поля в виде соотношений между представлением взаимо-
йствия и гейзенберговским представлением. Это видно из известной фор-
лы

$$\psi_H(x) = S^{-1}(t, t_0)\, \psi(x)\, S(t, t_0),$$

$\psi_H(x)$ — оператор поля в гейзенберговском представлении. $\psi(x)$ являет-
линейной комбинацией величин Γ_A, которые, ввиду (7), подвергаются
нейному преобразованию V. Соотношение (8) показывает, как путем

решения гейзенберговских уравнений движения для $\psi_H(x)$ можно построить оператор $S(t, t_0)$.

Установленная связь между движением электрона во внешнем поле $A_\mu(x)$ и вращениями пространства E_∞ позволяет наметить новый подход к решению общих задач квантовой теории поля. Вместо того чтобы определять функцию распространения электрона, движущегося в произвольном внешнем поле $A_\mu(x)$, т. е. искать общее решение уравнения Дирака с произвольным полем, мы можем обратиться к исследованию сравнительно простых объектов — ортогональных преобразований пространства E_∞. Правда, на этом пути возникают трудности, связанные с тем, что не всякое вращение может быть получено при помощи соотношений (9) и (10). Варьируя в этих отношениях поле $A_\mu(x)$ всевозможными способами, мы получаем лишь некоторый класс таких вращений. Тем самым возникает задача об описании этого класса. Одно из простейших условий, которому удовлетворяют вращения S, полученные указанным способом, состоит в том, что все они коммутируют с операторами заряда Q. Разумеется, это лишь необходимое, но отнюдь не достаточное условие.

Кроме того, мы можем перейти от функционального интегрирования по полю $A_\mu(x)$ к интегрированию по некоторому подмножеству элементов группы вращений пространства E_∞.

В заключение отметим, что рассмотренная связь теории ферми-полей и теории спиноров пространства E_∞ опирается лишь на перестановочные соотношения (2), характерные для статистики Ферми. Поэтому намеченный здесь подход без труда переносится в любой вариант теории ферми-полей, например, в теорию квазиполей ([5]), а также может найти применение в задачах статистической физики.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
Академии наук СССР

Поступило
16 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Е. С. Фрадкин, ДАН, 98, № 1, 47 (1954). [2] Н. Н. Боголюбов, ДАН, 99, № 2, 225 (1954). [3] S. F. Edwards, R. E. Peierls, Proc. Roy. Soc., A, 224, 24 (1954). [4] Э. Картан, Теория спиноров, ИЛ, 1947. [5] Ю. А. Гольфанд, ЖЭТФ, 28, в. 2, 140 (1955).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИКА

И. Г. КЕСАЕВ

О ДЕЛЕНИИ КАТОДНОГО ПЯТНА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 15 XI 1956)

Детальные наблюдения над катодным пятном ртутной дуги низкого дав-ния показывают, что в течение своего существования пятно находится процессе непрерывного дробления или деления. В обычных условиях порядочно движущегося по катоду пятна сам процесс деления оказы-тся в значительной степени завуалированным и наблюдению доступен шь конечный результат — появление двух или большего числа движу-хся на большом расстоянии друг от друга очагов эмиссии, когда послед-е оказываются достаточно стабильными. Удобным и в то же время про-им методом наблюдения деления пятна является фотографирование трассы тна при его упорядоченном движении в тангенциальном по отношению катоду магнитном поле. На основании подобных снимков оказалось воз-жным установить некоторые закономерности деления пятна и связать со способностью последнего к направленному движению в магнитном ле.

На рис. 1 представлена группа увеличенных в отношении 5 : 1 снимков ссы пятна в неоднородном магнитном поле на тонком слое ртути, покры-шем медную пластину. Поле создавалось электромагнитом с параллель-ми полюсными наконечниками, расположенными ниже пластины и раз-енными промежутком шириной в 1 см. Равновесное давление ртутного ра в разрядном пространстве соответствовало температуре 20—22°. При азанном расположении опыта пятно стремится двигаться вдоль линии имметрии поля в области максимума напряженности, составлявшей в усло-их рис. 1 около 520 эрст. Отдельные снимки в группе отличаются значе-ими тока дуги, возрастающего от верхних снимков к нижним. Рассмот-ние приведенных и им подобных снимков приводит к следующим выво-м.

1. Разветвления светлой полосы на снимках обращены всегда в сторону жения пятна, относящегося по своему типу к так называемому «обрат-му» движению. Они представляют собой следы изображений движущихся ономных пятен, образовавшихся в результате деления родоначального одного пятна.

2. После отделения очаги эмиссии удаляются друг от друга, обнаружи- своеобразное расталкивание, причем некоторые вскоре распадаются, да как другие принимают на себя весь ток дуги.

3. По мере увеличения тока характер деления усложняется вследствие личения числа ответвлений, обладающих значительной продолжитель-тью жизни и в свою очередь испытывающих деление. В результате число овременно действующих пятен увеличивается с током, причем в среднем пятно приходится ток около 8 а. Тем не менее, и при минимальных то-, при которых существует стабильная дуга, имеет место деление пятна, ущее остаться незамеченным вследствие быстрого распада ответвлений.

4. Имеются два типа разветвлений — симметричный и несимметричный. ервом случае обе ветви отклоняются под равными углами к оси симмет-

рии поля, что соответствует делению пятна на две приблизительно равны части. В случае несимметричного деления меньшему току соответствует больший угол отклонения и, как правило, меньшая продолжительность жизни.

5. По мере расхождения пятен угол между ветвями уменьшается, при симметричном делении раньше или позже ветви направляются параллельно, достигая равновесного расстояния l_e.

6. Каждому заданному току и полю соответствует вполне определенное l_e, увеличивающееся с ростом тока и с уменьшением напряженности поля.

7. Начальный угол расхождения ветвей в крайне слабом поле приближается к π, что соответствует расталкиванию пятен в диаметрально противоположных направлениях. С увеличением напряженности угол уменьшается.

8. Магнитное поле оказывает заметное стабилизирующее действие на катодное пятно. Это видно наглядно на снимке рис. 2, на котором при движении пятна в стороне от оси симметрии более устойчивыми оказываются ответвления, обращенные в сторону возрастающего поля, что является причиной дополнительного отклонения всего ансамбля в направлении оси симметрии.

9. Деление пятна имеет место и в отсутствие постороннего магнитного поля, которое вносит в этот процесс лишь количественные изменения, указанные в предыдущих пунктах, а также обусловливает направленное движение всего ансамбля пятен, облегчающее наблюдения.

10. Интервалы между последовательными актами деления пятна оказываются распределенными в некоторой области значений вблизи наиболее вероятного интервала времени около $1 \cdot 10^{-5}$ сек., что соответствует частоте деления пятна 10^5 в 1 сек.

11. Деление катодного пятна является одной из причин хаотического перемещения пятна по поверхности катода, наблюдающегося в отсутствие постороннего магнитного поля.

Перечисленные здесь наблюдения оказывается возможным объяснить и привести в стройность, применив к отдельным частям катодного пятна принцип максимума поля, рассмотренный в предыдущей работе для простого случая движения единичного пятна в постороннем магнитном поле [1]. Согласно этому принципу направление движения пятна в каждой точке траектории должно совпадать с направлением наиболее резкого у границы пятна увеличения напряженности суммарного магнитного поля, являющегося результатом сложения постороннего поля (H) и собственного поля (H_i) тока, пересекающего катод в пределах пятна. Переходя к задаче о движении двух или большего числа пятен в поле электромагнита H_w, под H_i следует понимать поле автономного тока i, связанного с рассматриваемым пятном, тогда как внешнее по отношению к нему поле H представляет геометрическую сумму полей остальных токов H_k и поля H_w. Эта задача в общем виде сопряжена с решением системы уравнений, причем особая сложность заключается в не поддающемся контролю перераспределении тока между отдельными очагами эмиссии. Тем не менее, ряд существенных выводов можно сделать и не решая этой сложной задачи, если ограничиться определением направления движения при заданном расположении токов либо определением траектории в частном случае симметричного деления.

Простейшим является случай двух соизмеримых и достаточно удаленных друг от друга токов, находящихся лишь в одном взаимном поле ($H_w = 0$). Легко убедиться в том, что согласно принципу максимума поля оба тока должны двигаться друг от друга вдоль соединяющей их прямой линии. Добавление поля электромагнита вызывает дополнительное перемещение каждого тока, но и в этом случае взаимное поле токов по-прежнему оказывает расталкивающее действие (что не следует связывать с какой-либо силой).

Последовательное решение задачи о делении пятна в постороннем поле невозможно без конкретной модели катодного пятна. В настоящем кратком

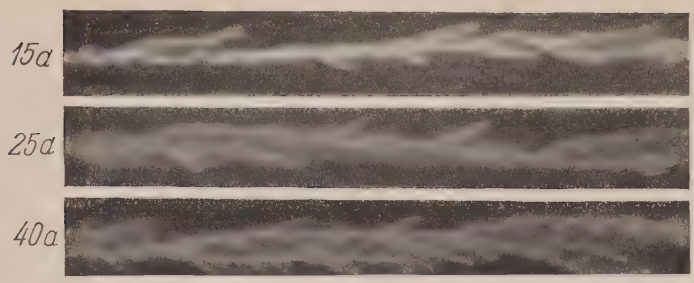


Рис. 1. Снимки трассы катодного пятна в тангенциальном магнитном поле с напряженностью 520 эрст.

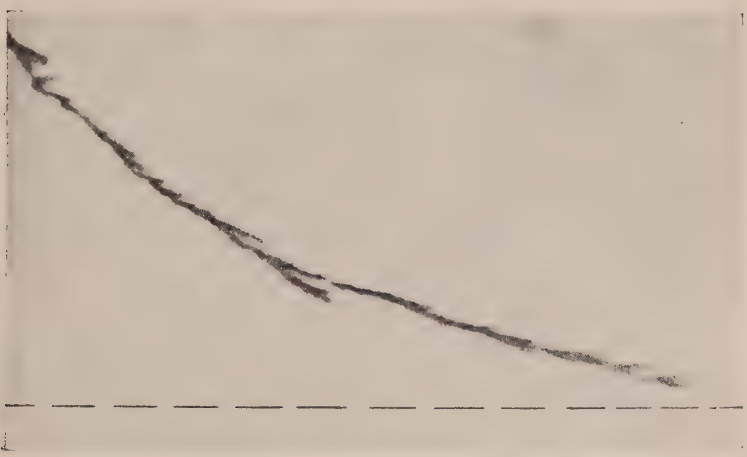


Рис. 2. Снимок трассы катодного пятна, начавшего свое движение в стороне от оси симметрии поля, указанной пунктирной линией

щении достаточно принять как данное, что пятно имеет форму линии, кущейся в направлении нормали и испытывающей деление в поперечном направлении ([2]). Применение принципа максимума поля к дальнейшему жению автономных токов приводит к следующим выводам.

Направление движения каждого тока при заданном их расположении исит от соотношения величин неоднородности внешнего поля в плоскости ода $\partial H/\partial x$ и $\partial H/\partial y$ и величин $\frac{H_y}{H}\frac{0{,}2i}{r^2}$ и $\frac{H_x}{H}\frac{0{,}2i}{r^2}$, представляющих асимрию сложения полей H и $H_i = \frac{0{,}2i}{r}$ вдоль осей x и y, где r — ективный радиус взаимодействия автономного пятна с внешним магным полем. Его величина, согласно оценке, произведенной в предыей работе ([1]) на основании изучения траектории единичного пятна в е электромагнита, оказалась заключенной в пределах от $3\cdot10^{-2}$ до 0^{-2} см для токов от 3 до 15 а.

Сама по себе неоднородность внешнего поля принуждает пятно перемеься в направлении усиления поля, тогда как асимметрия сложения полей словливает так называемое «обратное» движение, а также взаимное галкивание токов. Применяя эти представления к экспериментальным овиям рис. 1, легко объяснить наблюдения, перечисленные выше в пунк- 2, 4, 5, 6 и 7. Особенно ценную возможность количественной проверки рии доставляет определение равновесного расстояния l_e между ветвями симметричном делении пятна. Согласно указанной интерпретации, ичину l_e следует рассматривать как удвоенное расстояние x от оси симрии поля, при котором расталкивающее действие взаимного поля токов $= 0{,}2\ i/2x$ уравновешивается действием неоднородности поля электронита $\partial H_w/\partial x$, принуждающей токи двигаться к оси симметрии (при таточно больших x неоднородностью взаимного поля токов можно пречь). Из этого следует, что l_e может быть определено из уравнения

$$\frac{\partial H_w}{\partial x} - \frac{H_y}{H_w}\frac{0{,}2i}{r^2} = 0\,,$$

рое при использованном в опытах распределении поля H_w приводит риближенной формуле

$$l_e = \frac{0{,}4}{H_w r}\,i.$$

Определяя l_e по данным обработки снимков рис. 1 и им подобных, можно о произвести оценку значений радиуса r, которые оказались заключени в пределах от $1\cdot10^{-1}$ до $4\cdot10^{-1}$ см. Найденные значения r достаточно зки к тем, которые были получены в предыдущей работе по данным чения траектории единичного пятна в магнитном поле. Таким образом, ика r на основании опытов по изучению движения и деления пятна приит к приблизительно одинаковым величинам.

Приведенные в работе данные свидетельствуют о том, что образующиеся зультате деления пятна автономные очаги эмиссии удаляются друг от га под влиянием взаимных магнитных полей связанных с ними токов. занное взаимодействие может лишь усиливаться на близких расстояях, откуда можно заключить, что важнейшей причиной деления катодо пятна при низких давлениях является собственное магнитное поле и, локализующееся в районе пятна и расталкивающее отдельные его ти. Это расталкивающее действие поля не связано с силами взаимодейия между отдельными элементарными токами, а основано на облегии условий эмиссии на периферии катодного пятна.

Сделанное в работе заключение о тенденции катодного пятна к непрерывду делению или самораспаду под влиянием магнитного поля дуги на перый взгляд может показаться противоречащим факту существования ста-

бильного катодного пятна. Это кажущееся противоречие отпадает, если принять во внимание ряд дополнительных стабилизирующих факторов. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что расталкивающее действие поля, обусловленное асимметрией сложения внешнего и собственного полей, должно уменьшаться по мере уменьшения величины отщепляющейся части пятна. С другой стороны, имеет существенное значение непрерывно происходящее перераспределение тока, благодаря которому распад одного из пятен приводит к восстановлению другого и к возврату утраченному им доли тока. При таких обстоятельствах нестабильность малых очагов эмиссии равносильна существованию вокруг пятна непреодолимого для них барьера, предотвращающего вместе с тем полный распад пятна.

Учет указанных явлений приводит к представлению о параллельно протекающих процессах непрерывного деления и восстановления катодного пятна.

Всесоюзный электротехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
9 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. Г. Кесаев, ДАН, 112, № 4 (1957). [2] K. D. Froome, Proc. Phys. Soc (B), 62, 805 (1949).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИКА

Н. А. ПЕРФИЛОВ, В. П. ШАМОВ и О. В. ЛОЖКИН

ТРОЙНОЕ ДЕЛЕНИЕ УРАНА НА БЫСТРЫХ ЧАСТИЦАХ

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 15 XII 1956)

1. Экспериментальные данные. При просмотре пласти-, пропитанных ураном и облученных протонами с энергией 660 Мэв, о зарегистрировано несколько случаев деления урана, которые сопро-дались излучением многозарядной частицы с зарядом $Z \geqslant 4$. Среди них дена плоская тройная вилка, микрофотография которой приведена на . 1. Следы всех трех частиц, соста-ющих вилку, по их внешнему виду отности зерен, наличие δ-ядер на х следах) должны быть отнесены к гозарядным частицам — два к олкам деления тяжелого ядра, а сий по плотности потемнения су-твенно превосходит следы от стиц.

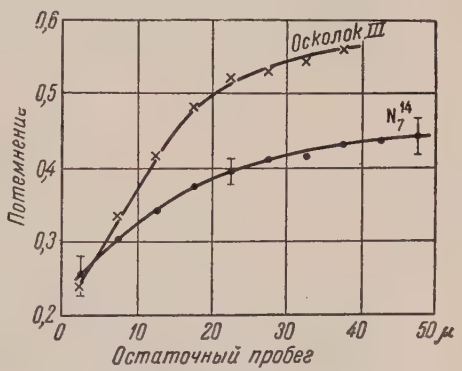


Рис. 2. Зависимость полного потемнения $P = \frac{I_ф - I_c}{I_ф}$ от пробега для осколка *III* и ионов азота N_7^{14}

В опыте использовалась особо козернистая фотоэмульсия П-9, с делом чувствительности по прото-~35 Мэв и с хорошей дифферен-ующей способностью по отноше-к частицам разной природы.

Плотность потемнения вдоль всех х следов была измерена с помощью ометрической установки. Фотоме-рование производилось при разме-щели в плоскости объекта $5 \times 0{,}8\mu^2$. Измерялось значение вели-ы полного потемнения $P = \frac{I_ф - I_c}{I_ф}$, где $I_ф$ — ток на выходе фо-множителя, когда щель расположена рядом с треком частицы; I_c — , когда след и щель совпадают.

Результаты измерения полного потемнения вдоль трека *III* (от конца бега) приведены на рис. 2. Там же для сравнения приведены резуль-ы фотометрирования треков ионов азота.

Полученные данные по углу наклона кривой $P = f(R)$ позволяют, как показано в работе О. В. Ложкина [1], определить значение Z. Для час-ы, давшей след *III*, получилось значение для заряда $Z_{III} = 9{,}8 \pm 1$. чение среднего потемнения для треков *I* и *II* равно, соответственно, 0 и 0,400. В этой же эмульсии промеры средних плотностей потемнений следов осколков двойного деления и следов α-частиц дали, соответствен-0,380 и 0,220.

Результаты сравнения показывают, что следы *I* и *II* действительно яв-тся следами многозарядных ионов типа осколков деления. Так как беги частиц *I* и *II* равны, то будем считать эти частицы одинаковыми. агая $Z_{III} = 10$, получим $Z_I = Z_{II} = 41$.

2. Расчет тройной вилки. Как уже отмечалось, найденн нами вилка оказалась компланарной, и траектория действующего прото лежит также в плоскости вилки. Используя зависимости пробег — энерг ([2,3]), мы оценили кинетические энергии и импульсы двух тяжелых оско ков и третьей более легкой частицы. На рис. 3 сплошными линиями пре ставлена схема импульсов анализируемой тройной вилки. Направлен движения действующего прото на рис. 3 совмещено с осью и по условиям опыта задано с то ностью до 3—4°.

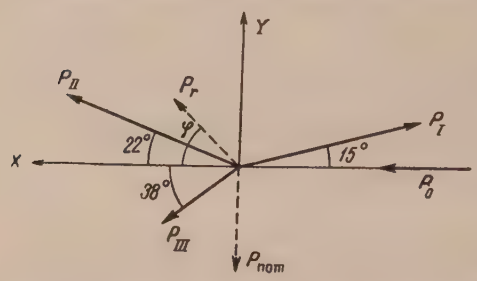


Рис. 3. Схема импульсов анализируемой тройной вилки. P_I; P_{II} — ориентация импульсов осколков деления; P_{III} — ориентация импульса легкого осколка Ne^{20}_{10}; P_r — ориентация результирующего импульса тройной вилки; $P_{пот}$ — ориентация недостающего импульса; P_0 — импульса падающего протона

Для величины и направлени результирующего импульса тройной вилки, согласно схе рис. 3, будем иметь следующие ур внения:

$$P_r = \sqrt{(\Sigma P_x)^2 + (\Sigma P_y)^2} = 1820 \frac{\text{Мэв}}{c}$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\Sigma P_y}{\Sigma P_x} = \frac{1290}{1280} \approx 1, \quad \varphi = 45°$$

Так как деление произошло в р зультате столкновения с падающи протоном, энергия которого равна 660 Мэв, а импульс $P_0 = 1290 \frac{\text{Мэв}}{c}$, т исходя из закона сохранения импульса всей системы (падающий протон - тройная вилка), можно получить величину и направление недостающе импульса. В дальнейшем мы полагали, что потерянный импульс обусловл протоном, след которого в эмульсии не виден*:

$$\mathbf{P}_{пот} = \mathbf{P}_0 - \mathbf{P}_r,$$

$$P_{пот} = \sqrt{P_0^2 - 2P_0P_r\cos 45° + P_r^2} = 1300 \frac{\text{Мэв}}{c},$$

$$\theta = \arcsin \frac{P_r \sin 45°}{P_{пот}} = 270°.$$

Ориентация P_r и $P_{пот}$ показана на рис. 3 пунктирными линиями. И рисунка видно, что, в пределах возможных экспериментальных ошибок, сто кновение, в результате которого ядро разделилось на три части, произош ло без заметного изменения начального импульса по величине, а сл довательно, и с малым изменением энергии. Изменение начальной энерги соответствует упругому рассеиванию падающего протона на угол 90° ядре урана ($\Delta E \sim 8$ Мэв).

На основании произведенного анализа можно заключить, что анализ руемая тройная вилка есть результат тройного деления ядра уран начальная энергия возбуждения которого мала.

Здесь, однако, мы встречаемся с новой трудностью. При столкновени протона с энергией 660 Мэв с ядром урана вероятность упругого или поч упругого рассеяния на угол 90° очень мала. Кроме того, известно, что пр малых энергиях возбуждения (при действии медленных нейтронов на я ро урана) явление тройного деления является процессом весьма маловер ятным ([4–6]). Учтя изложенное выше, мы полагали, что в данном случае пр столкновении протона столь высокой энергии с ядром урана тройное дел

* Можно предположить также, что потерянный или недостающий импульс уносит одна, а несколько частиц той же массы или одна более тяжелая частица, однако такое р смотрение в применении к анализируемой вилке приводит к ряду противоречий.

К статье Н. А. Перфилова, В. П. Шамова и О. В. Ложкина, стр. 75

Рис. 1. Микрофотография случая деления ядра урана с испусканием многозарядной частицы. *I, II* — тяжелые осколки, $Z_{I,II} = 41$ (пробег $l_I = l_{II} = 12$ μ); *III* — легкое ядро, $Z_{III} = 9{,}8 \pm 1$ (пробег $l_{III} = 42$ μ)

К статье Н. А. Колесниковой, стр. 191

Рис. 4. Подкожная вена бедра с тромбом, покрытым эндотелием. 3 сутки после 5-часового сдавливания. Формалин. Гематоксилин Вейгерта. Пикрофуксин. Об. 8, ок. 10×. Микрофотография

могло бы осуществиться с заметной вероятностью лишь в результате
ентрального удара с передачей значительного углового момента.
Ниже мы попытались дать качественную картину возможного механизма
йного деления на быстрых частицах. В силу наличия большого квадру-
ьного момента ядро урана должно быть в значительной степени вытяну-
. Вытянутость ядра урана позволяет предполагать как центральный, так
со значительно большей вероятностью) нецентральный удар. В случае
ее вероятного процесса следует предполагать, что первичный процесс
имодействия быстрого протона с ядром урана носил характер нецент-
ьного упругого удара. Вследствие такого удара ядро урана должно по-
ить, помимо кинетической энергии, еще некоторый угловой момент
$= P_r \Delta r$. В силу закона сохранения углового момента ядро урана должно
сеять полученный угловой момент $M_я$. Если значение полученного уг-
ого момента велико (сильно нецентральный удар), то ядро не может
ть его путем нецентрального испускания легких частиц (особенно ес-
учесть, что начальная энергия возбуждения либо равна нулю — упру-
удар, либо незначительна — практически упругий удар).
В анализируемом нами случае естественно предположить, что снятию
ового момента способствует нецентральное испускание легкого осколка
).

Рассмотрим энергетическую сторону процесса. Для того чтобы ядро
на смогло испустить легкий осколок Ne_{10}^{20} с импульсом $P_{Ne_{10}^{20}} = 1800 \frac{Мэв}{c}$,
должно обладать начальной энергией возбуждения $E_0 \geqslant 100$ Мэв. За счет
их процессов ядро урана может высвободить указанную энергию?
Энергия, освобождаемая за счет дефекта масс при делении урана на два
олка неравных масс ($A_1 = 20$; $A_2 = 218$), в два раза меньше указанной
ичины E_0. Однако, если предположить, что одновременно с испусканием
кого осколка ядра остаток делится пополам, то выделяемая при таком
цессе тройного деления энергия оказывается равной 240 Мэв.
блюдаемая на опыте энергия двух тяжелых осколков и легкого
олка (все в системе центра масс) оказывается равной 210 Мэв, т. е.
тветствует энергии, выделенной при тройном делении.
Таким образом, оказывается возможным объяснение наблюдаемой трой-
вилки путем предположения весьма специфического хода ядерной ре-
ии. Для более или менее строгого решения вопроса о протекании реак-
подобного вида необходимо изучение всех случаев делений урана с
гозарядными частицами.

Авторы весьма признательны И. М. Шмушкевичу за участие в обсужде-
результатов.

Радиевый институт
Академии наук СССР

Поступило
4 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] О. В. Ложкин, ЖЭТФ, **32**, в. 1 (1957). [2] N. Bohr, Phys. Rev., **58**, 839,
0). [3] J. P. Lonchamp, J. Phys. Radium, **14**, 89 (1953). [4] Н. А. Перфилов,
горская диссертация, Радиев. инст. АН СССР, 1947. [5] S. T. Tsien, Z. W. Ho,
hastel, J. Phys. Radium, **8**, 165 (1947). [6] L. Rosen, A. Hudson, Phys.
, **78**, № 5, 533 (1950).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИК

Г. В. СПИВАК, Т. Н. ДОМБРОВСКАЯ и Н. Н. СЕДОВ

НАБЛЮДЕНИЕ ДОМЕННОЙ СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНЕТИКА ПРИ ПОМОЩИ ФОТОЭЛЕКТРОНОВ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 3 XI 1956)

В работе описывается электронооптический метод отображения доменно структуры ферромагнетика при помощи фотоэлектронов, фокусируемы магнитной оптикой. Достоинством этого метода является то, что он по воляет получить вполне качественное с высоким контрастом изображени магнитных микрополей поликристаллических и монокристаллических по верхностей ферромагнитных кристаллов. Данная работа является дал нейшим развитием прежних экспериментов, проведенных в нашей лабо ратории [1-4] по электронооптической визуализации магнитных микро полей.

Основной идеей, как наших предшествующих работ [1-4], так и данно исследования явилось представление о том, что непосредственно увидат доменные поля возможно в том случае, если заставить взаимодействовать электронный пучок с катодной электронной линзой, в плоскость като которой введены изучаемые магнитные поля — магнитные «микролинзы Эти «микролинзы» создают хроматическую и сферическую аберрации им мерсионной оптики, благодаря которым «микролинзы» и визуализируютс на флуоресцирующем экране.

Таким образом, в нашем методе «недостатки» иммерсионной оптики вызванные магнитными микрополями на катоде, как раз и служат для и отображения. Отметим два свойства развиваемого нами метода: 1) возмож но отобразить всю совокупность доменов и их границ, выходящих на пло кую поверхность; 2) возможно управление контрастом и разрешением эле тронооптической картины за счет изменения параметров, характеризу щих иммерсионную оптику и свойства электронного луча.

Сопоставление с электронооптическими методами визуализации ма нитных микрополей, предложенными другими авторами, мы произвел ранее [1,2,3].

Требования предъявляемые к электронооптической системе, основа ной на применении катодной линзы, сводятся к следующим: 1) высокая чу ствительность к визуализируемым магнитным полям, обеспечивающая н обходимый контраст, и 2) высокое разрешение по магнитной микрострукт ре. Обоим этим требованиям метод, основанный на использовании фот электронов, удовлетворяет лучше, чем ранее нами предложенные два др гих способа [2,3].

Была использована простая установка для качественной электронноо тической визуализации доменной структуры и других микрополей кобал та — это стеклянная модель фотоэлектронного эмиссионного микроско непрерывной откачки (рис. 1). Источником фотоэлектронов в микроско был сурьмяно-цезиевый катод, подложкой коего являлся исследуемый фе

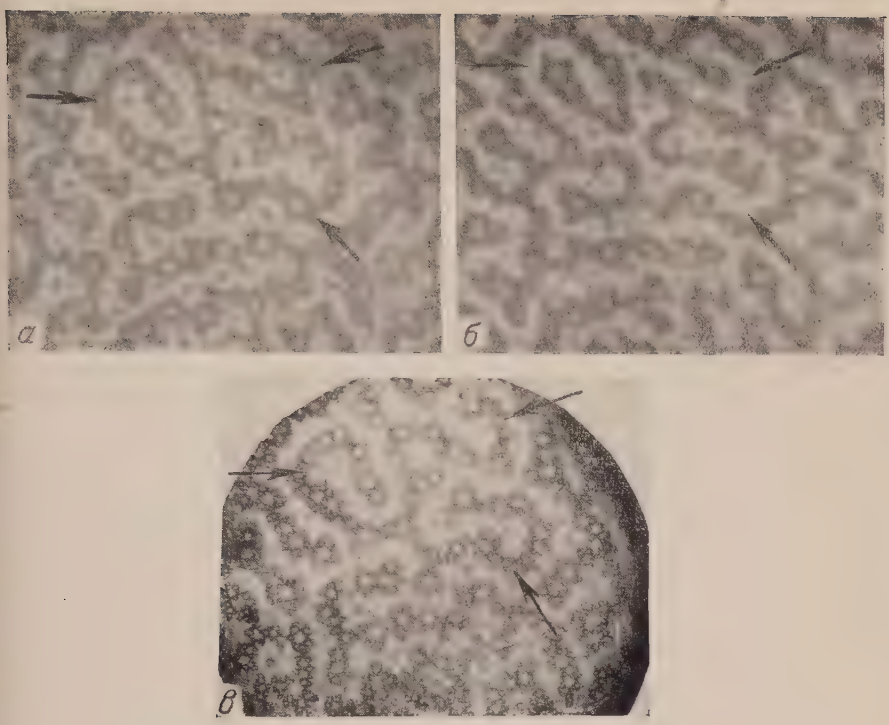


Рис. 2. 60×

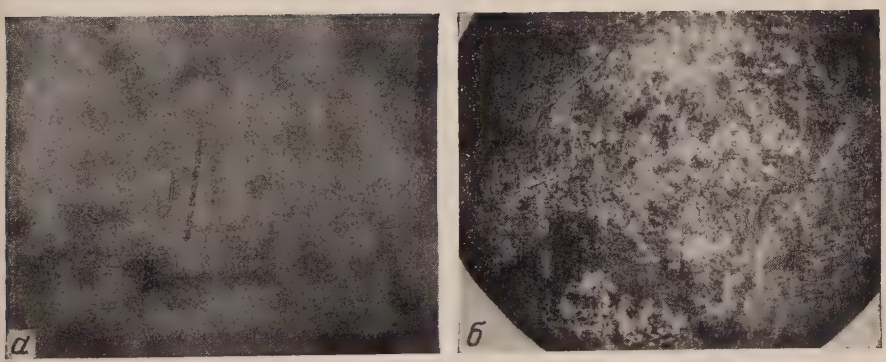


Рис. 3. 60×

агнитный образец. Локально распределенное магнитное поле подложки никает через полупроводниковый фотокатод и формирует картину магнитного поля на флуоресцирующем экране. Фокусирующая система — коротокусная панцырная магнитная линза. Источник освещения — электрическая лампа накаливания. При наличии достаточно тонкого очувствляющего рытия ферромагнетика получается достаточно глубокая модуляция бражения локальными микрополями доменов. Напряжение, прикладаемое к системе катод — анод (катод —исследуемый образец), составля- 6—8 кв. Магнитное поле, линзы как фокусирующее, так и подмагиивающее образец, было 400—600 эрст. Вакуум, при котором форовалось изображение, был порядка $5 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.; он создавался ационным форвакуумным насосом и паромасляным диффузионным осом ЦВЛ-100. Для вымораживания паров масла применялся жидкий г.

С помощью этой установки нами были получены изображения доменов гексагональной поверхности окристалла кобальта, а так- на полированной поверхнополикристаллического коьта. На рис. 2*а* показано бражение доменной структу- Магнитное поле фокусирую- и подмагничивающей линзы о приложено перпендикуляр- к гексагональной поверхно- монокристалла кобальта ×). На рис. 2*б* дано фотоктронное изображение того самого участка монокри- ла кобальта, но направле- магнитного поля изменено на прямо противоположное (60×). Как но из рассмотрения этих двух фотографий (см. отмеченные стрелки участки), при изменении по знаку направления подмагничивающего поля на обратное изменяется и знак контраста электронооптического зображения. Рис. 2*в* дает изображение доменов фигур той же самой агональной поверхности монокристалла кобальта, полученное методом порошковых фигур ([5]).

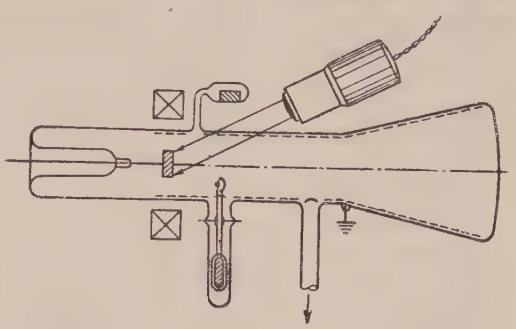


Рис. 1. Устройство фотоэлектронного микроскопа

На рис. 3*а* приведена фотография локальных магнитных микрополей, ученная в фотоэлектронном микроскопе на полированной поверхности икристаллического кобальта. Изображение полученное с помощью ферагнитного порошка на поликристаллическом кобальте, показано на 3*б*.

Таким образом, мы видим, что с помощью фотоэлектронной эмиссии возно получение электронооптических изображений локальных магнитных микрополей, распределенных в плоскости объекта, которые по своему ству сравнимы с порошковыми фигурами и значительно лучше полуых нами ранее ([2,3]).

Сопоставим состояние и перспективы двух ранее предложенных одов визуализации магнитных микрополей ([2,3]) с методом настоящей ты.

Изображения, полученные с помощью вторично-эмиссионного микроа ([2]), довольно хорошо согласуются с картиной, получаемой порошковым дом, но в разрешении деталей они уступают последнему. С помощью вто-о-эмиссионного метода пока не удалось получить достаточно контраст- электронооптического изображения тонкой структуры доменных р. Как нам представляется причиной этого является использование вто-ых электронов, имеющих большие начальные скорости (порядка 5— в), что ведет к геометрическим и хроматическим аберрациям, свойствен-

ным иммерсионному объективу, тем более значительным, чем выше начальн
скорости электронов ([6]). Помимо этого недостатки юстировки ведут ещ
аберрациям первого порядка. Эти обстоятельства и определили относи
льно слабый контраст и не вполне достаточное разрешение электронноо
ческой картины. Важной особенностью вторичноэмиссионного мет
является то, что поверхность не нуждается в очувствлении, может бы
вызвана достаточно большая эмиссия и указанные выше аберрации мо
быть в дальнейшем значительно снижены.

Применение электронного зеркала ([3]) к проблеме визуализации м
нитных микрополей позволило сразу получить изображения с контраст
значительно превышающим эффект, осуществляемый при помощи втор
ных электронов и с относительно большим полезным увеличением 200
Использование при этом электронов, которые останавливаются у повер
ности исследуемого ферромагнитного образца значительно повысило н
разрешающую способность оптической системы, так и контраст картин
Но получаемое с помощью электронного зеркала изображение облад
той особенностью, что отражение электронов происходит по вогнут
поверхности, не совпадающей с плоскостью образца, что ведет к иска
нию картины. Искажение электронноoптического изображения затрудня
интерпретацию получаемого изображения и тем самым, в известной ме
ограничивает возможности применения метода зеркала. Механизм фор
рования электронного изображения магнитных неоднородностей в эле
ронном зеркале рассмотрен в статье ([3]).

Контраст электронноoптического изображения, получаемого при
мощи фотоэлектронов по вышеописанному методу, не уступает достиг
мому при помощи электронного зеркала. Изображение, как показыва
сравнение с порошковыми фигурами, лишено искажений. При этом зн
чительный контраст и хорошее разрешение обусловлены рядом обст
тельств: 1) при фотоэффекте используются медленные электроны со ско
стями примерно на порядок меньшими, чем в случае отображения со в
ричными электронами ([2]); 2) отсутствуют косые электронные пучки. Ко
раст картины должен зависеть как от «внешних» по отношению к образ
электронных траекторий, так и от работы выхода фотоэлектронов, мод
лируемой магнитным полем ([7]).

Эффективность закручивания у поверхности катода электронных тр
екторий, вышедших в вакуум, как известно, определяет контраст карт
ны ([2,4]). Вместе с тем теория ([8]) приводит к зависимости работы выхо
электронов от H, что было недавно изучено при разных температурах и д
автоэлектронной эмиссии ([9]).

Фотокатод отображающий магнитную микроструктуру, должен бы
достаточно эффективен: 1) в смысле величины электронной эмиссии, об
печивающей необходимую яркость экрана; 2) в отношении однороднос
эмиссии и 3) невелик по толщине, дабы магнитное поле подложки ферр
магнетика заметно проникало в вакуум.

Однородность фотоэмиссии связана с шероховатостью катода. Как п
казали недавние наблюдения ([10]), шероховатость сурьмяно-цезиевого к
тода может быть сделана достаточно малой, не нарушающей однороднос
необходимой для отображения магнитной микроструктуры.

Электронноoптические способы визуализации магнитных полей ([1-
дают более яркие и контрастные изображения, чем магнетооптическ
метод, использующий эффект Керра, где визуальное наблюдение з
трудпено ([11]) и фотографирование осуществляется со значительной выдер
кой.

Значительные успехи были достигнуты в последнее время в изучени
доменов ферромагнетиков в результате применения порошкового метода([12
Вместе с тем следует помнить, что инерционность частиц порошка
их размеры при наблюдении при помощи оптического микроскопа клад

еделенный предел дальнейшему углублению в микромир доменных уктур при помощи порошкового метода. Поэтому вполне целесообразно является разработка также и электронноoптической методики в связи обходимостью детального изучения структуры доменных микрополей.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
30 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Г. В. Спивак, Н. Г. Канавина, И. С. Сбитникова, И. Н. Чершев, ДАН, **92**, 541 (1953). [2] Г. В. Спивак, Н. Г. Канавина, С. Сбитникова, Т. Н. Домбровская, ДАН, **105**, 706 (1955). В. Спивак, И. Н. Прилежаева, В. К. Азовцев, ДАН, **105**, 965 5). [4] Г. В. Спивак, Т. Н. Домбровская, ДАН, **106**, 39 (1956). В. Вонсовский, Я. С. Шур, Ферромагнетизм, 1948. [6] Электронная микропия, под ред. А. А. Лебедева, 1954, гл. VI. [7] B. Cardwell, Phys. Rev., **76**, 1949). [8] С. В. Вонсовский, А. В. Соколов, ДАН, **76**, № 2 (1951). В. Спивак, А. Гельберг, ДАН, **94**, 455 (1954). [10] А. И. Фример, И. Герасимова, ЖТФ, **26**, 726 (1956). [11] H. J. Williams, F. Forr, E. A. Wood, Phys. Rev., **82**, 120 (1951). [12] L. F. Bates, D. H. Martin, Phys. Soc., London, **88**, 537 (1955); **99**, 145 (1956); L. F. Bates, Res., **8** 462); M. Jamamoto, T. Iwata, Sci. Rep. Res. Inst. Tohoku Univ., A-5, № 5, (1953); Л. В. Киренский, В. Д. Дылгеров, Физика металлов и металловеде, **3**, 216 (1956).

аказ 1212

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОФИЗИКА

В. Б. СОЛЛОГУБ, П. Я. ГАЛУШКО, А. А. ВОПИЛКИН и А. М. ПАТИОХА

О НЕКОТОРЫХ ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЕЛИЧИНУ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 25 IX 1956)

Данные сейсмических измерений в буровых скважинах ([1,7–9]) свидетельствуют о том, что величины пластовой скорости распространения продольных упругих колебаний зависят от многих причин (статическая нагрузка вышележащих пород, метаморфизм, литологический состав пород и др.), влияние которых на величину пластовой скорости в различных породах и в различных регионах обычно бывает не одинаково. В настоящей статье рассматривается один из основных факторов, влияющих на изменение пластовой скорости — статическая нагрузка вышележащих пород.

Известно, что одни и те же осадочные горные породы, залегающие на различных глубинах, характеризуются различными по величине скоростями, при этом, чем больше глубина залегания рассматриваемых отложений, тем больше в них пластовая скорость.

Для изучения закономерной связи между величиной скорости и статической нагрузкой нами произведены измерения скорости в образцах горных пород, находящихся под различным давлением.

При лабораторных исследованиях для измерения скорости распространения продольных упругих колебаний был применен импульсный ультразвуковой сейсмоскоп, изготовленный по схеме Ю. В. Ризниченко, Б. Н. Иванкина и В. Р. Бугрова ([5]). При этом в качестве датчиков использовались кристаллы сегнетовой соли среза X —45° с частотой собственных колебаний 140 кгц. Исследования производились на образцах горных пород кубической формы со стороной 8—10 см, которые подвергались односторонне му сжатию на гидравлическом прессе с интервалами нагрузки в 20 кг/см². Принятая нами методика аналогична применявшейся в сейсмической лаборатории Геофизического института АН СССР при подобных исследованиях ([6]). Испытаниям были подвергнуты образцы песчаников и известняков в количестве 24 штук.

В течение опытов с образцами одной и той же породы режим работы сейсмоскопа оставался строго постоянным. Воспроизводимость получаемых данных контролировалась многократным измерением скорости упругих волн перед началом испытания под давлением.

По данным лабораторных исследований построены графики $v_{II} = f(P)$, где v_{II} — скорость распространения продольных упругих колебаний в м/сек, измеренная параллельно прилагаемой нагрузке, P — нагрузка в кг/см². Типичные кривые зависимости скорости от прилагаемой нагрузки приведены на рис. 1 (кривая *1* для песчаников, кривая *2* для известняков).

Для кривой *1* характерны следующие особенности: при изменении нагрузки от 0 до 120 кг/см² скорость прохождения ультразвуковых волн интенсивно увеличивается от 3200 до 3900 м/сек. При увеличении нагрузки от 120 до 420 кг/см² увеличение скорости замедляется и составляет только 200 м/сек (4100 м/сек). Дальнейшее увеличение нагрузки приводит уж

уменьшению скорости, после чего наступает разрушение образца (при влении 610—620 кг/см²).

Кривая 2 показывает ту же закономерность изменения скорости от давления, что и кривая 1; различие имеется только в абсолютных значениях личин скоростей и давлений.

Характер полученных кривых физически возможно объяснить следующим образом: образец горной породы в ненагруженном состоянии характеризуется определенной скоростью распространения упругих колебаний. При приложении нагрузки на разец пористость породы уменьается, мелкие частицы более плотно илегают друг к другу и, естественно, скорость прохождения упругих волн увеличивается.

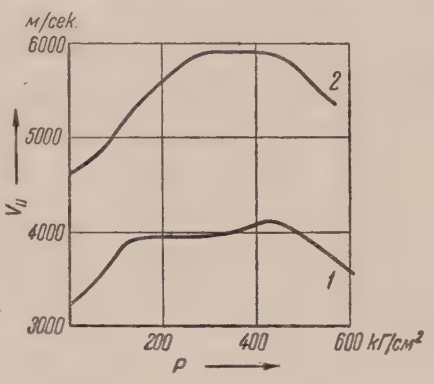


Рис. 1

Увеличение скорости продолжается до определенного момента, когда пористость породы уменьшается до предела и процесс уплотнения зко замедляется. Дальнейшее увеличение нагрузки, по-видимому, влит на уплотнение и перераспределение самих элементарных частиц. Может быть случаи, когда скорость практически остается постоянной. Периоду еньшения скорости при дальнейшем увеличении нагрузки, по-видимому, ответствует появление микро-, а затем макротрещиноватости, который канчивается полным разрушением образца породы. Такое явление наблюдается при одностороннем сжатии образца. При всестороннем давлении, к показал Д. Н. Балашов (²), в первой стадии нагрузки картина будет алогичной приведенной выше, но при значительном увеличении давления орость распространения упругих волн остается примерно постоянной.

В природных условиях, в процессе осадконакопления пласты горных ород в зависимости от глубины их залегания оказываются в различных ловиях нагруженности. Следовательно, степень уплотнения одних и х же пород на различных глубинах будет неодинаковой, а поэтому зависимость увеличения скорости от нагрузки на разных глубинах — разчной. Например, в отложениях сармата и верхнего тортона Предкарпатого прогиба на глубине 250—750 м вертикальный градиент равен 60 м/сек 100 м глубины, а для глубин 1500—2000 м он равен всего 30 м/сек. районе Прикубанской впадины в майкопских отложениях для глубин 0—270 м градиент равен 30—40 м/сек на 100 м, а в интервале 00—2000 м 20 м/сек.

Кроме описанных выше лабораторных опытов были проведены на ряде разцов исследования по определению зависимости скорости упругих лн от давления при повторных нагрузках и разгрузках образца. Для их целей образец горной породы нагружался до 40—50% разрушающей грузки, ступенями в 20 кг/см², затем разгружался такими же ступенями повторно нагружался. На всех ступенях нагрузки и разгрузки измерялись скорости продольных упругих волн.

На рис. 2 сплошной линией показано изменение скорости при первом кле нагрузки, пунктирная линия характеризует уменьшение скорости процессе разгрузки и, наконец, штрихпунктирная линия характеризует менение скорости в образце при повторной нагрузке.

Кривая 1, полученная при испытании образца песчаника, показывает, о изменения величины скорости при нагрузке, разгрузке и повторной грузке весьма сходны. Это свидетельствует о том, что исследуемый образец по своему поведению приближается к идеальной упругой среде, т. е. таточная деформация не наблюдается.

Кривая 2 (для более рыхлого песчаника) имеет несколько иную характеристику. При первом цикле — нагрузке — происходит увеличение скорости. При разгрузке скорость в образце уменьшается, с другой закономерностью, нежели в первом цикле. Абсолютные значения скорости при разгрузке несколько больше, чем при нагрузке. Следовательно, в данном случае имеет место явление остаточной деформации в образце. Повторная нагрузка вызывает увеличение скорости в образце, причем характер из-

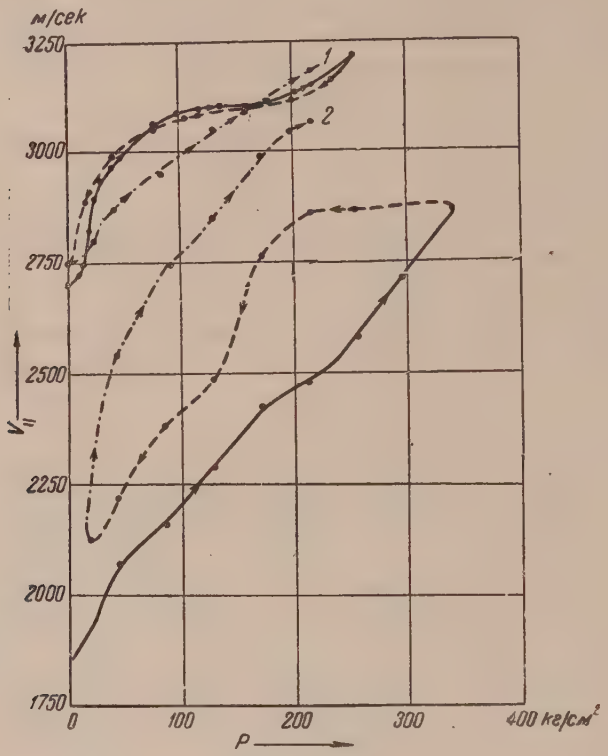


Рис. 2

менения последней остается примерно такой же, что и в первом цикле, но абсолютные значения скорости значительно больше.

Данные исследований показывают, что в горных породах наряду с явлениями резко выраженной остаточной деформации может наблюдаться почти полное ее отсутствие, причем на образцах одного и того же литологического состава. По-видимому, явление остаточной деформации зависит от структурных особенностей исследуемых образцов.

Сопоставим наши лабораторные исследования с некоторыми процессами, происходящими в осадочных отложениях земной коры. Формирование осадков того или иного региона является довольно сложным процессом, состоящим из многочисленных циклов осадконакопления и денудации. При анализе ряда последовательных циклов можно придти к выводу, что один и тот же пласт горной породы в процессе формирования региона подвергался многократным циклам нагрузки и разгрузки. В период осадконакопления, когда происходило увеличение мощности вышележащих отложений, пласт испытывал непрерывное увеличение нагрузки и его пластовая скорость изменялась в сторону увеличения. В период денудации этот пласт подвергался разгрузке вследствие сноса вышележащих отложений, и скорость в нем уменьшалась. Эти процессы неоднократно повторялись, так как после процессов размыва могли возникнуть процессы осадконакопления и т. д.

Из всего сказанного видно, что проведенные нами лабораторные иссле-
вания с нагрузкой образца горной породы, разгрузкой и повторной на-
рузкой его могут быть с некоторыми допущениями (без учета явления ре-
аксации) сопоставлены с процессами, протекающими в период геологиче-
кой истории того или иного региона (тектонические процессы, как было
же указано, не рассматриваются).

Таким образом, характеристика упругих свойств горных пород и, в
астности, скорость прохождения продольных колебаний в них зависит
о многом от геологической истории рассматриваемого региона и от свойств
амой горной породы.

Для горной породы, которой, как бы присущи свойства идеально упру-
ой среды, скорость не зависит от количества повторяющихся процессов
садконакопления и размыва вышележащих пород, а зависит только от
лубины залегания породы в настоящее время (факторы литологии и дина-
ометаморфизма в данном случае не принимаются во внимание).

В случае, если горная порода по своим свойствам заметно отличается от
деально упругого тела, величина скорости распространения упругих
олебаний в ней будет зависеть не только от глубины залегания последней,
о и от геологической истории рассматриваемого региона. В этом случае
удет играть роль остаточная упругая деформация, и чем большее число
иклов осадконакопления и денудации имело место, тем заметнее разли-
ие в закономерности изменения скорости от глубины по различным реги-
нам.

Из приведенных лабораторных исследований и результатов сейсмиче-
ких наблюдений в буровых скважинах можно сделать следующие выводы.

1. Статическая нагрузка вышележащих пластов оказывает значитель-
ое влияние на упругие свойства тех или иных отложений, а именно, чем
ольше указанная нагрузка, тем больше величина скорости распространения
пругих колебаний в однотипных породах.

2. В том случае, если горная порода приближается к идеально упругому
елу, скорость в ней зависит только от статической нагрузки и не зависит
т геологических процессов (осадконакопления и денудации), происходив-
ших в рассматриваемом регионе.

3. Горные породы, которые отличаются от идеально упругих тел, имеют
статочную деформацию, благодаря чему наблюдаемая в настоящее время
корость распространения упругих волн в них зависит не только от глуби-
ы залегания, но и от геологических процессов, которые происходили в
сследуемом районе. Поэтому одновозрастные породы в различных регио-
ах могут отличаться по величине скорости даже в том случае, если они
алегают на одной и той же глубине.

4. Детальный анализ величин пластовых скоростей в горных породах
ожет дать некоторые данные для суждения и формирования изучаемого
егиона и выявления крупных перерывов в осадконакоплении.

Геологический институт
Академии наук УССР

Поступило
11 II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Ф. Берг, Дж. Шерер, Г. Спайсер, Справочники для геологов по физиче-
ким константам, 1949. [2] Д. Б. Балашов, Диссертация, Геофиз. инст. АН СССР,
955. [3] А. М. Епинатьева, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., № 1, 63
948). [4] Ю. В. Ризниченко, О. И. Силаева, Изв. АН СССР, сер. геофиз.,
№ 3, 93 (1955). [5] Ю. В. Ризниченко, Б. Н. Ивакин, В. Р. Бугров,
зв. АН СССР, сер. геофиз., № 1, 26 (1953). [6] Ю. В. Ризниченко, О. И. Си-
лаева и др., Тр. Геофиз. инст. АН СССР, 35 (1956). [7] В. Б. Соллогуб, Геологич.
урн., **14**, 1, 71 (1954). [8] В. Б. Соллогуб, ДАН, № 3, 545 (1954). [9] S. W. Faust,
eophysics, **16**, 2, 192 (1951).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОФИЗИКА

А. И. ФЕЛЬЗЕНБАУМ

ОБОБЩЕНИЕ ТЕОРИИ УСТАНОВИВШИХСЯ ТЕЧЕНИЙ МЕЛКОГО МОРЯ НА СЛУЧАЙ ПЕРЕМЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВЕРТИКАЛЬНОГО ОБМЕНА

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 19 XI 1956)

Обобщим теорию установившихся течений мелкого моря ([1], [2]) на случай, когда коэффициент вертикального обмена меняется как в горизонтальных, так и в вертикальном направлениях.

Уравнения установившегося движения вдоль горизонтальных декартовых осей координат X, Y запишем в виде

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(A\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-g\frac{\partial \xi}{\partial x};\qquad \frac{\partial}{\partial z}\left(A\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-g\frac{\partial \xi}{\partial y}, \tag{1}$$

где u, v — горизонтальные компоненты скорости; g — ускорение силы тяжести; $\xi(x, y)$ — понижение физической поверхности моря относительно ее невозмущенного горизонтального положения $z=0$ (ось Z направлена вниз); $A(x, y, z)$ — кинематический коэффициент вертикального обмена.

Граничные условия на поверхности моря, приближенно отнесенные к невозмущенной поверхности моря $z=0$, и на дне $z=H(x, y)$:
при $z=0$

$$A\frac{\partial u}{\partial z}=-\frac{T_x}{\rho},\qquad A\frac{\partial v}{\partial z}=-\frac{T_y}{\rho}; \tag{2}$$

при $z=H$

$$u=v=0, \tag{3}$$

причем (3) в случае пологого берега является одновременно и условием на береговой черте, где $H=0$.

Интегрируя уравнения (1) при условиях (2) и (3), получим

$$\begin{aligned} u&=g\frac{\partial \xi}{\partial x}\int_z^H\frac{\eta}{A}\,d\eta+\frac{T_x}{\rho}\int_z^H\frac{1}{A}\,d\eta;\\ v&=g\frac{\partial \xi}{\partial y}\int_z^H\frac{\eta}{A}\,d\eta+\frac{T_y}{\rho}\int_z^H\frac{1}{A}\,d\eta. \end{aligned} \tag{4}$$

Интегрируя (4) по z в пределах от $z=0$ до $z=H$, получаем следующие выражения для компонент полного потока S_x и S_y:

$$\begin{aligned} S_x&=g\frac{\partial \xi}{\partial x}\int_0^H\int_z^H\frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz+\frac{T_x}{\rho}\int_0^H\int_z^H\frac{1}{A}\,d\eta\,dz;\\ S_y&=g\frac{\partial \xi}{\partial y}\int_0^H\int_z^H\frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz+\frac{T_y}{\rho}\int_0^H\int_z^H\frac{1}{A}\,d\eta\,dz. \end{aligned} \tag{5}$$

Разрешая (5) относительно наклонов поверхности моря и вводя функ-
о полных потоков $\psi(x, y)$, получим

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{1}{g\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\left[-\frac{\partial \psi}{\partial y} - \frac{T_x}{\rho}\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta\,dz\right];$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial y} = \frac{1}{g\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\left[\frac{\partial \psi}{\partial x} - \frac{T_y}{\rho}\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta\,dz\right]. \qquad (6)$$

Подставляя (6) в (4), получим далее

$$u = -\frac{\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{T_x}{\rho}\left[\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta - \frac{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta\,dz}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\right];$$

$$v = \frac{\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{T_y}{\rho}\left[\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta - \frac{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta\,dz}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\right]. \qquad (7)$$

Таким образом, $\partial\xi/\partial x$, $\partial\xi/\partial y$ и u, v выражены через функцию ψ,
тысканию которой и сводится задача. Уравнение для ψ мы получим,
лючая ξ из (6) перекрестным дифференцированием:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{\frac{\partial \psi}{\partial x}}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{\frac{\partial \psi}{\partial y}}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\right] =$$

$$= \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{T_y}{\rho}\frac{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta\,dz}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\right] - \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{T_x}{\rho}\frac{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{1}{A}\,d\eta\,dz}{\int\limits_0^H\int\limits_z^H \frac{\eta}{A}\,d\eta\,dz}\right]. \qquad (8)$$

Если море замкнуто, то условие для функции ψ на его контуре L
кно записать в виде

$$(\psi)_L = 0; \qquad (9)$$

и же имеются жидкие границы, то на них функция ψ должна быть
ана из каких-либо дополнительных соображений.
Компоненты тангенциального напряжения ветра, входящие в (6), (7)
8), определяются через модуль W и компоненты W_x, W_y скорости
ра формулами ([2])

$$T_x = \gamma W W_x; \quad T_y = \gamma W W_y, \qquad (10)$$

оторых постоянная $\gamma = 3{,}2 \cdot 10^{-6}$ г/см^3.
Допустим, что коэффициент вертикального обмена зависит от скоро-
ветра, глубины моря и вертикальной координаты. Тогда из сообра-
ий размерностей будем иметь ([6])

$$A = cWH\varphi(\bar{z}), \qquad (11)$$

где постоянная c и функция φ безразмерны ($\bar{z} = z/H$), причем $\varphi(0) =$

Для определения постоянной c в формуле (11) рассмотрим задач об определении течения, возбуждаемого равномерным ветром в замкну том мелком море постоянной глубины. В этом случае (8) обращаетс в уравнение Лапласа для функции ψ, решение которого есть $\psi \equiv$ Полагая в (7) $\psi \equiv 0$, учитывая (10), (11) и вводя ветровой коэффи циент k, определяемый как отношение скорости поверхностного течени в замкнутом море постоянной глубины к скорости равномерного ветра получим

$$c = \frac{\gamma}{k\rho}\left\{-\frac{\int_0^1 d\bar{z}\int_{\bar{z}}^1 \frac{1}{\varphi}\,d\bar{z}}{\int_0^1 d\bar{z}\int_{\bar{z}}^1 \frac{\bar{z}}{\varphi}\,d\bar{z}}\int_0^1 \frac{\bar{z}}{\varphi}\,d\bar{z} + \int_0^1 \frac{1}{\varphi}\,d\bar{z}\right\}. \tag{12}$$

Функция $\varphi(\bar{z})$, характеризующая изменение коэффициента A в верти кальном направлении, обычно задается в виде степенного закона

$$\varphi(\bar{z}) = (1-\bar{z})^n. \tag{13}$$

Случай $n = 0$ (коэффициент A не меняется в вертикальном направле нии) был рассмотрен нами ранее ([2]). Здесь мы рассмотрим случаи $n = 1/2$ и $n = 3/4$ в соответствии с результатами, полученными Свердру пом ([3]) и Фиельдстадом ([4]) на основании наблюдений над течениями в Восточно-Сибирском море.

Формула (12) при n, равном 0, $1/2$ и $3/4$, дает значения постоянной c равные соответственно $\gamma/4k\rho$, $\gamma/3k\rho$ и $2\gamma/5k\rho$. При указанных значе ниях из (6), (7), (8) можно получить следующие окончательные выра жения для наклонов поверхности моря и горизонтальных компонент ско рости течения, а также уравнения для функции полных потоков:

1. При $n = 0$

$$\frac{\partial\xi}{\partial x} = -\frac{3\gamma W}{4g\rho kH^2}\frac{\partial\psi}{\partial y} - \frac{3\gamma W W_x}{2g\rho H},$$

$$\frac{\partial\xi}{\partial y} = \frac{3\gamma W}{4g\rho kH^2}\frac{\partial\psi}{\partial x} - \frac{3\gamma W W_y}{2g\rho H}; \tag{14}$$

$$u = -\frac{3(1-\bar{z}^2)}{2H}\frac{\partial\psi}{\partial y} + kW_x(1 - 4\bar{z} + 3\bar{z}^2),$$

$$v = \frac{3(1-\bar{z}^2)}{2H}\frac{\partial\psi}{\partial x} + kW_y(1 - 4\bar{z} + 3\bar{z}^2); \tag{15}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{W}{H^2}\frac{\partial\psi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{W}{H^2}\frac{\partial\psi}{\partial y}\right) = 2k\,\mathrm{rot}_z\frac{W\,W}{H}, \tag{16}$$

где

$$\mathrm{rot}_z\frac{W\,\mathbf{W}}{H} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{WW_y}{H}\right) - \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{WW_x}{H}\right). \tag{17}$$

2. При $n = 1/2$ *

$$\frac{\partial\xi}{\partial x} = -\frac{5\gamma W}{16g\rho kH^2}\frac{\partial\psi}{\partial y} - \frac{5\gamma W W_x}{4g\rho H},$$

$$\frac{\partial\xi}{\partial y} = \frac{5\gamma W}{16g\rho kH^2}\frac{\partial\psi}{\partial x} - \frac{5\gamma W W_y}{4g\rho H}; \tag{18}$$

* Решение более простой задачи о течении, возбуждаемом равномерным ветро в замкнутом море постоянной глубины, принадлежит В. Б. Штокману ([5]). Он счита что коэффициент вертикального обмена не зависит от горизонтальных координат.

$$u = -\frac{5\sqrt{1-\bar{z}}(2+\bar{z})}{8H}\frac{\partial\psi}{\partial y} + kW_x\sqrt{1-\bar{z}}\left(1-\frac{5\bar{z}}{2}\right), \qquad (19)$$

$$v = \frac{5\sqrt{1-\bar{z}}(2+\bar{z})}{8H}\frac{\partial\psi}{\partial x} + kW_y\sqrt{1-\bar{z}}\left(1-\frac{5\bar{z}}{2}\right);$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{W}{H^2}\frac{\partial\psi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{W}{H^2}\frac{\partial\psi}{\partial y}\right) = 4k\,\mathrm{rot}_z\frac{WW}{H}. \qquad (20)$$

3. При $n = {}^3/_4$

$$\frac{\partial\xi}{\partial x} = -\frac{9\gamma W}{64g\rho kH^2}\frac{\partial\psi}{\partial y} - \frac{9\gamma WW_x}{8g\rho H},$$

$$\frac{\partial\xi}{\partial x} = \frac{9\gamma W}{64g\rho kH^2}\frac{\partial\psi}{\partial x} - \frac{9\gamma WW_y}{8g\rho H}; \qquad (21)$$

$$u = -\frac{9\sqrt[4]{1-\bar{z}}(4+\bar{z})}{32H}\frac{\partial\psi}{\partial y} + kW_x\sqrt[4]{1-\bar{z}}\left(1-\frac{9\bar{z}}{4}\right), \qquad (22)$$

$$v = \frac{9\sqrt[4]{1-\bar{z}}(4+\bar{z})}{32H}\frac{\partial\psi}{\partial x} + kW_y\sqrt[4]{1-\bar{z}}\left(1-\frac{9\bar{z}}{4}\right);$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{W}{H^2}\frac{\partial\psi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{W}{H^2}\frac{\partial\psi}{\partial y}\right) = 8k\,\mathrm{rot}_z\frac{WW}{H}. \qquad (23)$$

Из уравнений (16), (20) и (23) видно, что качественная картина
ообмена, характеризуемая направлением полных потоков, остается
наковой во всех трех случаях. Количественно же водообмен меняется
ьма существенно: интенсивность его увеличивается от первого ко вто-
у и третьему случаю, соответственно, в два и четыре раза.

Что же касается наклонов поверхности моря, то они, в противопо-
кность водообмену, меняются незначительно. Действительно, из фор-
(14), (18) и (21) следует простая зависимость между наклонами
ерхности моря в рассматриваемых случаях: при переходе от первого
чая ко второму и третьему они уменьшаются, соответственно, на $^1/_6$
$/_4$, т. е. всего на 17 и 25%.

Относительно скоростей течения можно отметить следующее. Кривые
тикального распределения скоростей, построенные при коэффициенте A,
яющемся в вертикальном направлении, более близки к соответствую-
м кривым, построенным на основании непосредственных наблюдений
течениями в море. При практических вычислениях можно реко-
довать расчетную схему, построенную либо при $n = {}^1/_2$, либо при
$= {}^3/_4$. Сравнение вычисленных и наблюденных скоростей течения по-
кет преимущество той или другой схемы.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
5 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. И. Фельзенбаум, ДАН, **109**, № 1 (1956). [2] А. И. Фельзенбаум, Гос. океаногр. инст., **29** (41) (1955). [3] H. V. Svedrup, Sci. Res., **4**, № 2 (1929). E. Fjeldstad, Gerl. Beitr. z. Geophys., 23 (1929). [5] В. Б. Штокман, АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 1 (1941). [6] А. И. Фельзенбаум, Тр. Инст. нолог., **19** (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

БИОФИЗИКА

С. Н. АЛЕКСАНДРОВ

О ЗАВИСИМОСТИ РЕНТГЕНОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ОТ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЖИВОТНЫХ — НОСИТЕЛЕЙ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

(Представлено академиком Л. А. Орбели 19 X 1956)

Ранее было установлено, что мыши двух различных генетических линий (C_{57} — черные и А) резко отличаются по своей устойчивости к действию самых разнообразных повреждающих агентов: ионизирующей радиации, стрихнину, диэтиловому эфиру, хирургическим травмам и др. (1). При всех перечисленных воздействиях мыши линии C_{57} оказались значительно более резистентными, чем животные линии А. Так, например, минимальная летальная доза общего облучения рентгеновскими лучами для мышей линии C_{57}, при прочих равных условиях в $1^1/_2$ раза выше, чем для мышей линии А. При тотальном облучении животных гамма-лучами Co^{60} LD 50/30 для черных мышей составляет 800 г (мощность дозы 23,3 г/мин); при этой же дозе погибает 100% мышей линии А, причем гибель животных заканчивается на 20 сутки после облучения. Имеются указания, что мыши C_{57} более резистентны и к действию канцерогенных веществ (2). Наконец, было установлено, что черные мыши оказывают более сильное противодействие развитию трансплантатов злокачественной опухоли — асцитной карциномы Эрлиха. 10 мышам А и 10 мышам C_{57} под кожу спины вводили одинаковое количество (0,2 мл) асцитической жидкости от одной и той же беспородной мыши с опухолевым асцитом в брюшной полости. Затем периодически производился просмотр всех мышей и измерение новообразований у каждой из них (определялась длина, ширина и высота каждой опухоли). На основании полученных данных вычислялся средний диаметр опухолей по Шреку (3) * и среднее арифметическое, характеризовавшее размер опухолей у животных данной серии, для каждого из сроков наблюдений. Наблюдения продолжались до начала массовой гибели животных с наиболее крупными новообразованиями. Более отчетливо выраженное сопротивление черных мышей развитию трансплантатов выразилось в удлинении латентного периода появления опухолевых узелков, поддающихся измерению (рис. 1). Однако, это повышенное противодействие в дальнейшем преодолевается, и скорость роста новообразований у мышей обеих линий оказывается одинаковой. Среднесуточный прирост ** опухолей у мышей А — 0,86, у мышей C_{57} — 0,85, т. е. практически одинаков.

Более высокая резистентность мышей C_{57} по сравнению с животными А, выявляющаяся при действии самых разнообразных агентов и, в част

---

* $D_{ср} = \sqrt[3]{abh}$, где a — длина, b — ширина, h — высота опухоли.

** Величина среднесуточного прироста опухолей $k = \frac{b_2 - b_1}{t_2 - t_1}$, где b_2 — средний диаметр новообразований при последнем измерении; b_1 — средний диаметр опухоли при первом возможном измерении, т. е. к моменту окончания латентного периода роста опухолевых узелков; t_2 — и t_1 время после перевивки (в сутках) до моментов первого (t_1) и последнего (t_2) измерений.

ионизирующей радиации, несит, таким образом, более или менее цифический характер. Важно отметить, что эти различия сохраняются ом случае, если воздействию подвергаются животные указанных ли- асцитной карциномой Эрлиха. Последнее согласуется с данными Алешина и Н. Г. Цариков- [4]), установивших, что у жи- х с перевиваемыми опухоля- частности, асцитной карцино- неспособных эффективно про- ействовать их росту, защитно- особительные реакции при зии ряда других вредностей няются. Представленные дан- позволили поставить вопрос исимости эффективности лу- воздействия на опухоль щей резистентности живот- носителей новообразований. ышам C_{57} и А в мышцы бедра й конечности вводилось 0,2 мл ической жидкости, взятой от одной и той же беспородной мыши. Через ей после перевивки опухолевые узлы достигали значительных разме- подвергались локальному рентгеновскому облучению. При этом все тело животных, за исключением облучаемого поля, было надежно защищено свинцом толщиной в 5 мм. Для предотвращения действия мягкого вторичного излучения внутренняя поверхность свинцовой защиты была покрыта слоем асфальтового лака. Условия облучения: напряжение 190 кв, сила тока 20 ма, фильтр 0,5 мм меди и 1 мм алюминия, фокусное расстояние 30 см, размер поля — 3×3 см; мощность дозы 80 г/мин, доза — 2000 г. Через двое суток после облучения мыши забивались, опухоль извлекалась и подготовлялась для перевивки: освобождалась в стерильных условиях от некротических участков, взвешивалась и тщательно из- чалась; опухолевая кашица разводилась рингеровским раствором (на ткани 2 мл жидкости). Приготовленная суспензия облученной опу- от одной мыши C_{57} или А перевивалась под кожу спины 10 бес- дным мышам (по 0,2 мл — каждой мыши).

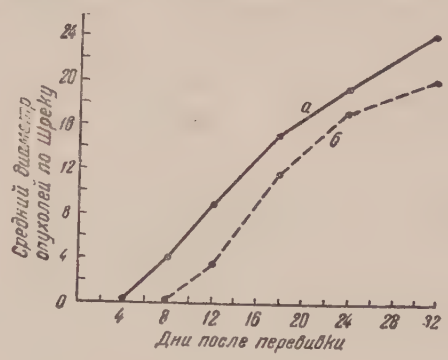
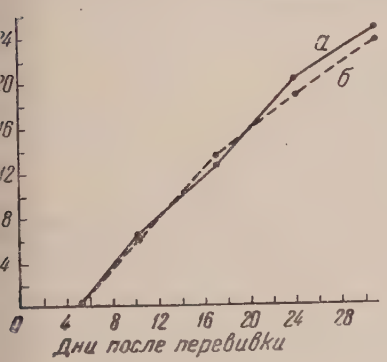


Рис. 1. Рост трансплантатов асцитной карциномы у мышей линии А (*а*) и C_{57} (*б*)



2. Рост трансплантатов асцитной номы от мышей линии А (*а*) и C_{57} (*б*) ревивке на беспородных животных

нтервал в 2 суток между облучением и трансплантацией был выбран зи с тем, что, согласно имеющимся данным ([5],[6]), за этот период уже таточной степени успевает выявиться эффект непрямого действия ра- ии, на интенсивность которого могла повлиять активность защитных ций организма носителя опухоли.

режде чем излагать результаты этих опытов, необходимо остановиться онтроле к ним, имевшем целью выяснить, имеются ли различия в рос- ансплантатов асцитной опухоли, существовавшей в течение 15 дней у ей А и C_{57} при последующей перевивке беспородным животным, на ко- х обычно пассировалась эта опухоль. Суспензия опухолевого материа- риготовлялась и вводилась описанным выше стандартным способом. видно на рис. 2, между трансплантатами асцитной опухоли от мышей от мышей А при перевивке на беспородных животных ни в продолжи-

тельности латентного периода, ни в скорости роста не существует сколь нибудь существенных различий. Среднесуточный прирост опухолей в п вом случае равен 0,86, во втором 0,88.

Если же перевивался материал опухолей, локально облученных в ор низме мыши А или C_{57} дозой 2000 г, то различия в росте тра плантатов были выражены вес отчетливо (рис. 3)*. Хотя тормо ние роста новообразований наб дается в обоих случаях, однако трансплантов опухолей, облуч ных в организме мышей C_{57}, выражено значительно сильнее. казателем этого служит не тол более продолжительный латентн период появления опухолевых уз ков, но и более резкое сниже среднесуточного прироста опу лей. Для трансплантатов опу лей, облученных в организме мышей А, он равен 0,8 (в обоих опытах) для мышей C_{57}—0,69 и 0,71. Таким образом, скорость роста в первом с чае снижается по сравнению с контролем на 9% (0,8 сравнительно с 0, а во втором — на 18% (0,7 по сравнению с 0,86).

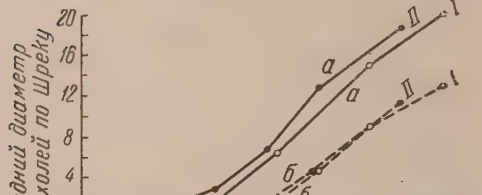


Рис. 3. Рост облученных трансплантатов асцитной карциномы у мышей линии А (*а*) и C_{57} (*б*) при перевивке на беспородных животных

Однако, прежде чем делать окончательные выводы, следовало вы нить, существуют ли различия в эффективности лучевого воздействия на опухолевые элементы, росшие в организме мыши А или C_{57} при их облучении вне организма. Через 15 дней после внутримышечной перевивки опухолевый материал от мышей А и C_{57} извлекался из организма и из него приготовлялась стандартная суспензия. 3 мл этой суспензии наливалось в стерильный стеклянный бюкс, крышкой которого служил слой бумаги. Оба бюкса одновременно облучались дозой рентгеновых лучей 200 (упомянутые выше условия; фильтр отсутствовал, мощность дозы 308 г/ми Непосредственно после облучения материал из каждого бюкса перевив ся 10 беспородным мышам под кожу спины (по 0,2 мл). Кривые роста тра плантатов не отличаются друг от друга, что указывает на отсутствие р личия в эффективности действия ионизирующей радиации на опухоле элементы, росшие в организме мыши линии А или C_{57} при облуче in vitro (рис. 4). Таким образом линейная принадлежность мышей носите злокачественных новообразований оказывает влияние на результат об чения опухоли только при воздействии in vivo.

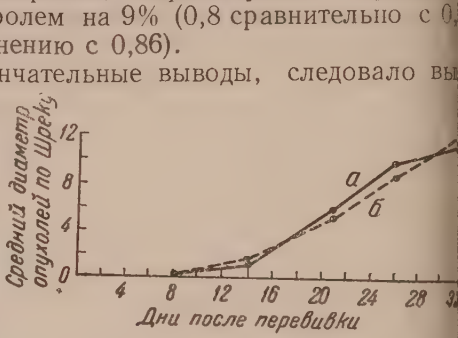


Рис. 4. Рост трансплантатов асцитной кар номы от мышей линии А (*а*) и C_{57} (*б*), об ченных вне организма и перевитых на бе родных животных

Установлена прямая зависимость эффективности лучевого воздейст на опухоль от уровня общей резистентности и, в частности, радиорез тентности животных носителей новообразований. Следовательно, влия защитных реакций организма при лучевом воздействии оказывается п тивоположно направленным в отношении нормальных и опухолевых т ней. С одной стороны, эти реакции в меру своей активности, препят вуют развитию лучевого поражения в нормальных тканях, содейству ликвидации возникающих в них нарушений и, тем самым, обеспечива определенную радиорезистентность организма; с другой стороны, защ

* На рис. 3 представлены результаты двух параллельных опытов (I и II).

еакции в соответствии с их активностью способствуют изменению левых элементов при лучевом воздействии. Таким образом, эта зоположная направленность защитных реакций при прочих равных иях обеспечивает в процессе лучевой терапии преимущественное ение опухолевых элементов по сравнению с их нормальными про-ами.

нтральный научно-исследовательский
рентгено-радиологический институт
Ленинград

Поступило
17 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

. Н. Александров, К. Ф. Галковская, Журн. общ. биол., № 1 [2] Д. Гринштейн, Биохимия рака, ИЛ, 1951. [3] R. Schrek, Am. J. 24, 807 (1935). [4] Б. В. Алешин, Н. Г. Цариковская, Медичн. АН УССР, 24, 23 (1954). [5] K. Sugiura, Radiol., 29, 352 (1937). [6] Л. М. дштейн, Значение местного и общего действия рентгеновых лучей при лечении ей, Л., 1941.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИ

Н. А. ЕСЕПКИНА

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ РАДИОТЕЛЕСКОПОВ С ВЫСОКОЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 10 XI 1956)

В радиоастрономии для получения данных о распределении радио кости на космических источниках и для изучения точечных источников обходимы антенны с диаграммами направленности порядка угловых мин Снимать диаграммы направленности таких антенн по космическим источ кам затруднительно, так как необходимо иметь источники с угловы размерами меньшими, чем диаграмма антенн или знать распределение радиояркости на п тяженных источниках с точностью до дол диаграммы антенны.

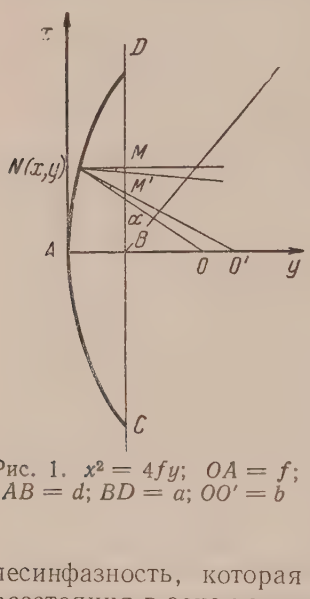


Рис. 1. $x^2 = 4fy$; $OA = f$; $AB = d$; $BD = a$; $OO' = b$

Антенна с диаграммой в 1′ имеет раскр $D = 3{,}5 \cdot 10^3\ \lambda$. Диаграмма такой антенны ф мируется на расстоянии

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} = 750 \text{ км} \quad (\lambda = 3 \text{ см}).$$

На таком расстоянии снимать диаграмму пр тически невозможно. Можно снимать диаграм таких антенн во френелевской зоне и сравн их с соответственно рассчитанными диаграм ми, но и в этом случае необходимо выбирать порядка десятков километров для того, что диаграмма была чувствительна к малым из нениям фазы на раскрыве антенны. Эту тр ность можно обойти, намеренно создав на р крыве антенны при измерении диаграм несинфазность, которая скомпенсирует расфазировку за счет конечно расстояния в зоне измерения диаграммы. Несинфазность на раскрыве тенны можно создать различными способами: выносом облучателя из куса, деформированием формы зеркала (если антенна состоит из отде ных подвижных частей) и т. д. В настоящей работе рассмотрен вопро снятии диаграммы направленности с помощью выноса облучателя из куса*.

На рис. 1 дан ход лучей в параболе с облучателем в фокусе и фокуса. Несинфазность на раскрыве параболы за счет выноса облу теля из фокуса на расстояние b равна

$$\psi(x) \simeq -kb\,\frac{x^2}{2f^2}\,\frac{2}{1+x^2/4f^2} \quad \text{при } \frac{b}{f} \ll 1, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

(для $a = 50$ м и $\lambda = 3$ см $b/f \ll 0{,}01 \div 0{,}02$).

* По-видимому, эта возможность имелась в виду в работе [1].

а счет конечности расстояния во френелевской зоне получается
ость фаз

$$\psi_1(x) = \frac{kx^2}{2R}\sin^2\alpha \simeq \frac{kx^2}{2R},$$

как $\alpha \simeq \pi/2$ для антенн с узкой диаграммой.
Поле на расстоянии R от антенны равно

$$E = Ae^{jkR}\int_{-a}^{a} e^{j[\psi_1(x)+\psi(x)]}e^{-jkx\cos\alpha}dx.$$

При

$$\psi_1(x) + \psi(x) = 0 \qquad (*)$$

м

$$E = Ae^{jkR}\int_{-a}^{a} e^{-jkx\cos\alpha}dx,$$

. получим диаграмму направленности, соответствующую дальней

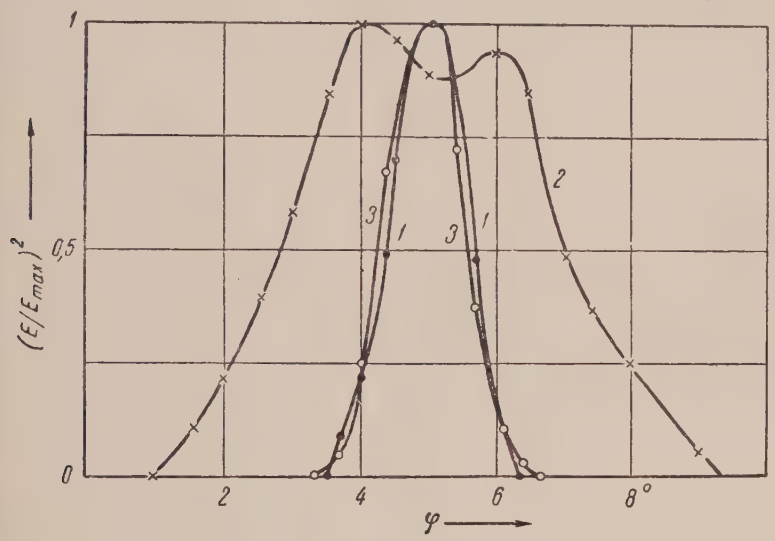


Рис. 2. *1* — $R = 150$ м, $b = 0$; *2* — $R = 13$ м, $b = 0$; *3*—$R = 13$ м, $b = 3$ см

В зависимости от величины a/f и от условий облучения зеркала
цию $\psi(x)$ можно аппроксимировать следующим образом:

1) $\psi(x) \simeq -kb\frac{x^2}{2f^2}$;

2) $\psi(x) \simeq -kb\frac{x^2}{2f^2}\frac{1}{1+a^2/4f^2}$.

Таблица 1

b/f	R_1, км	R_2, км
0,0075	6,2	8,2
0,01	4,6	6
0,015	3,1	4,1

огда получим, используя (*),
е значения R, на которых можно
ать диаграмму при данном вы-
облучателя b:

1) $R = \frac{f^2}{b}$; 2) $R = \frac{f^2}{b}\left[1 + \frac{a^2}{4f^2}\right]$.

табл. 1 даны значения R и b для зеркала с $2a = 100$ м; $\lambda = 3$ см;
$= 1{,}1$.

Описанный метод снятия диаграммы был проверен экспериментал
на параболическом зеркале с размерами: $a = 75$ см; $\lambda = 3$ см; $a/f = 1$
Диаграмма этой антенны формируется на $R = 150$ м. На рис. 2 да
диаграммы антенны для $R = 150$ м и $R = 13$ м с облучателем в фок
($b = 0$) и с вынесенным облучателем ($b = 3$ см). Совпадение диагра
измеренных в дальней и ближней зонах, получается весьма хорошим.

Таким методом мы рассчитываем снять диаграмму направленно
антенны для сантиметровых волн с раскрывом порядка сотни метр

Предложенный здесь метод будет, по-видимому, полезен для сня
характеристик антенн с узкими диаграммами направленности и д
измерения их коэффициента усиления при слабом влиянии зеркала
облучатель.

Главная астрономическая
обсерватория

Поступило
5 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] D. K. Cheng, P. Crusauskas, Tele-Techn., **14**, № 6, 113 (1955).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. В. КОТЕЛЬНИКОВ

СОЗДАНИЕ МАГНИТНОЙ ТЕКСТУРЫ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В ТОНКИХ СЛОЯХ ЖЕЛЕЗА, ПОЛУЧАЕМЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 12 XI 1956)

Многочисленные исследования показали, что многие магнитные свойства ериалов зависят от магнитной текстуры. Магнитная текстура может ь обусловлена как кристаллографической текстурой, так и анизотропией ряжений, получаемой, например, при термомагнитной или термомеха-еской обработке образца. орт (1) дал теорию термо-нитной обработки, согласно орой в материалах при высо-температурах происходят стические деформации кри-литов. Блойс (2) обнару-влияние магнитного поля, ладываемого на пермаллой оцессе его осаждения в ва-ме.

Как показали наши опыты, лектролитически осаждаемо-железа магнитное поле так-может создавать одноосную туру с осью легкого намаг-ивания в направлении при-дываемого при осаждении я. Появление текстуры у тролитического железа не ет быть объяснено пласти-ими деформациями, так как тролиз обычно протекает низких температурах. При-ая во внимание анизотропию итострикции отдельных кристалликов и процесс образования из них икристаллического осадка, можно показать, каким образом в нем ет создаваться магнитная текстура.

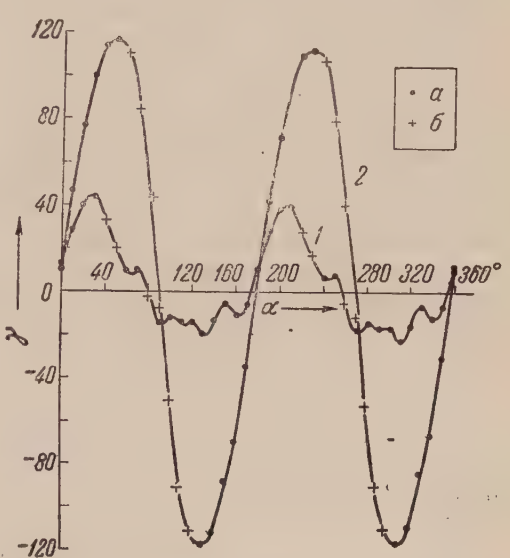


Рис. 1. *а* — устойчивое положение образца, *б* — неустойчивое

При электролизе железа из водных растворов его солей магнитное поле ладывалось вдоль поверхности образующегося слоя осадка. На полу-ых образцах в форме диска диаметром 20 мм, толщиной до 100 и более рон изучалась текстура методом измерения энергетической анизотро-. Для этой цели с образцов снимались магнитограммы анизометром лова — Брюхатова (3). На рис. 1 приведены магнитограммы двух об-ов одинаковой толщины (113 μ), полученных при одинаковых условиях тролиза. Кривая *1* соответствует образцу, полученному без поля, кри-*2* — образцу, полученному в поле 560 эрст.

каз 1212

Основные результаты исследования

1. В электролитически получаемом железе магнитное поле созда одноосную текстуру с осью легкого намагничивания в направлении пр кладываемого при осаждении поля.

2. Как показали рентгенограммы, текстура осадков не является крист лографической, поэтому следует считать, что она обусловлена внутренн ми напряжениями.

3. На текстуру осадков чрезвычайно большое влияние оказывает обр ботка поверхности подкладки перед осаждением на нее слоя железа. П исследовании этого влияния изучалась текстура осадков, получаемых подкладках: а) с механической зачисткой поверхности напильником мелкой насечкой, после которой на поверхности подкладки оставали штрихи в строго определенном направлении; б) концентрическая шлифо ка поверхности подкладки дисков шкуркой 4/0; в) электролитическая п лировка поверхности подкладки.

4. Текстура осадков, создаваемая магнитным полем, имеет максиму при поле в несколько сот эрстед; в осадках, получаемых при полях выше ниже этого критического поля, степень текстуры уменьшается. Существо вание оптимального поля можно объяснить механическим взаимодействие кристаллитов, образующих поликристаллический осадок и обладающи анизотропией магнитострикции (железо).

5. Энергия анизотропии пленок, получаемых при критическом по достигает величины $5 \cdot 10^4$—$6 \cdot 10^4$ эрг/см^3.

6. Вычисленная величина внутренних напряжений σ, обусловливающи энергетическую анизотропию осадка ($\Delta u = 5 \cdot 10^4$ эрг/см^3), оказалась ра ной 15 кг/мм^2, что по порядку величины совпадает со значениями внутре них напряжений в электролитических ферромагнитных осадках, определя емых обычно другими методами. Напряжение определялось по формул полученной на основании предположения, что при намагничивании пол кристаллической пленки в направлении, перпендикулярном к направлени оси легкого намагничивания, каждый кристаллит, изменяя свою форм совершает механическую работу, затрачиваемую на преодоление давления оказываемого на него со стороны соседних кристаллитов и равного вел чине внутренних напряжений:

$$\Delta u = 3\lambda\sigma.$$

Для изотропных материалов такой учет взаимодействия кристаллит приводит к формуле

$$\Delta u = {}^3/_2\lambda\sigma.$$

В обеих формулах λ — магнитострикция, определяемая путем усредн ния абсолютных значений магнитострикций кристаллитов, образующи поликристаллический осадок при отсутствии в нем кристаллографическ текстуры ([3,4]).

6. Магнитное поле, накладываемое при электролизе вдоль поверхнос осаждения ферромагнитных пленок, улучшает качество покрытия и ус ливает его сцепление с подкладкой. Это, по-видимому, обусловлено т что при получении осадков в магнитном поле в них не происходит магн тострикционных перераспределений. В отсутствие полей с ростом толщи осадка в нем, согласно теории Киттеля ([5]), происходит перераспределен доменной структуры, а следовательно, и стрикционных деформаций, к торые могут привести к концентрации напряжений на отдельных участка те, в свою очередь,— к отслаиванию осадка от подкладки, к растрескивани и скручиванию получаемой пленки, особенно когда она тонкая. Этот мет улучшения качества ферромагнитных покрытий магнитным полем мож иметь практическое значение, особенно при покрытии ферромагнетика

их пленок, фольги и т. п., которые при их получении без поля могут деформированы или скручены образующимся на них осадком.

Пользуюсь приятным случаем выразить глубокую благодарность проф. . Телеснину за ценные указания при выполнении данной работы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
21 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

R. M. Bozorth, J. Appl. Phys., 8, 575 (1937). [2] M. S. Blois, J. Appl. Phys., 26, 8, 955). [3] Н. С. Акулов, Ферромагнетизм, 1939. [4] С. В. Вонсовский, . Шур, Ферромагнетизм, 1948. [5] Ч. Киттель, Физика ферромагнитных об-й, ИЛ, 1951, стр. 117.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИК

Л. С. ПАЛАТНИК и Г. В. ФЕДОРОВ

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОЛУПРОЗРАЧНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СЛОЕВ

(Представлено академиком С. А. Векшинским 17 XII 1956)

Тонкие металлические и полупроводниковые пленки в настоящее вре вызывают значительный теоретический и практический интерес.

Одним из важнейших способов их получения является испарение мета лов в вакууме с последующей конденсацией паров на соответствующ подложках.

Одним из основных параметров, определяющих свойства полупрозра ного металлического слоя, является его толщина. Существенной харак ристикой испарителя, излучающего в вакууме молекулярный поток мета ла, является распределение плотности этого потока в пространстве, а в час ном и наиболее интересном случае — распределение удельной плотнос конденсированного металла на плоском коллекторе.

Вопросам распределения молекулярных потоков в вакууме при и пользовании различного вида испарителей отведено значительное место монографии ([1]). Однако, описанные в ней методы исследования не всег являются простыми и удобными.

Как известно, строгий аналитический расчет распределения плотнос конденсата на плоском коллекторе осуществим только в случае сферич ского испарителя ([1]). К сожалению, применение сферического испарите возможно не всегда. Кроме того, при сферическом испарителе коэффицие использования молекулярного потока невелик.

По указанным причинам некоторые исследователи применяют испари ли иной формы и для экспериментального изучения распределения мета ла, сконденсированного на плоском стеклянном коллекторе, использу фотометрический метод. Достоинствами последнего является его доступнос и быстрота. Однако кажущаяся простота этого метода может привес к ошибочным суждениям об относительной их толщине. За исключени работы ([2]), где дается фотометрическая оценка толщины полупрозрачно слоя серебра, мы не встречали в литературе работ, в которых были бы д ны обоснования и оценка точности фотометрического метода измерения то щины тонких пленок.

В настоящей работе предлагается микрофотометрический метод изм рения абсолютной толщины полупрозрачных металлических пленок полученных испарением в вакууме, а также распределения плотнос конденсата на прозрачной (стеклянной) подложке при применении испар телей произвольной формы.

Метод фотометрирования полупрозрачных слое

Мы исходим из естественного допущения, что количество сконден ровавшегося металла в любой точке коллектора («эффективная» толщин

* Здесь под «эффективной» толщиной подразумевается толщина сплошной пленки же удельной плотности конденсата, которую имеет дискретная пленка. Связь между уде ной плотностью q и толщиной h:

$$q \text{ г/см}^2 = h \text{ см} \cdot d \text{ г/см}^3.$$

h) будет пропорционально времени τ осаждения при постоянстве овий эксперимента, т. е. геометрии системы и температуры, а следовано, и скорости испарения металла. При этом предполагается, что в ерименте коэффициент аккомодации $\alpha = 1$, т. е. конденсация молекуного потока на коллекторе происходит полностью. Для упрощения рас можно применить испаритель, создающий распределение конденсата руговой симметрией.

Ось симметрии испарителя должна быть перпендикулярна плоскости лектора. В этом случае распределение сконденсировавшейся пленки по цине будет представлять собой говой холм с максимумом плотнои толщины на оси симметрии. Очено, высота максимума будет пропорциональна времени осаждения .

Если произвести осаждение слоев алла на нескольких коллекторах, яя в некоторых пределах время ждения, то можно получить зависимость почернения коллектора S ремени осаждения τ, другими словами — от толщины слоя h, так как щина слоя $h = k\tau$, где k — коэффициент пропорциональности. Если теь профотометрировать любой из лектров по прямой, проходящей з максимум плотности (толщины), ожно построить зависимость почернения S от расстояния до заданной точки коллектора. Соответствующие зависимости $S(\tau)$ и $S(\rho)$ изображены на рис. 1. На основе этих двух исимостей строим зависимость , эквивалентную зависимости $h_{\text{отн}}(\rho)$ в произвольных единицах по оси инат.

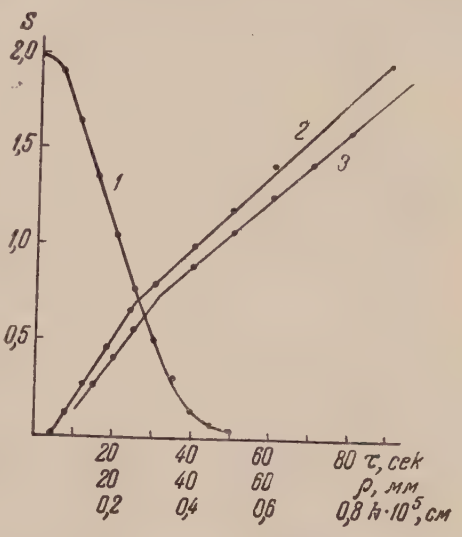


Рис. 1. *1* — Зависимость $S(\rho)$, *2* — зависимость $S(\tau)$, *3* — усредненная зависимость $S(h)$

Разбив максимальную ординату h_0 зависимости $h_{\text{отн}}(\rho)$ на n равных ей Δh, нумерованных в порядке возрастания $h_{\text{отн}}$, мы можем вычись объем полученного кругового холма в единицах $h_{\text{отн}}$, суммируя емы элементарных цилиндров, построенных на радиусах ρ_i при высоте дого цилиндра Δh. Этот объем будет равен

$$V = \pi \Delta h \sum_1^n \rho_i^2.$$

ругой стороны, если общее время испарения металла равно t, коливо испаренного металла — Q, время осаждения фотометрированного и слоя — τ, то количество вещества в этом слое:

$$Q' = Q\frac{\tau}{t}.$$

ем металла будет равен

$$V' = \frac{Q\frac{\tau}{t}}{d};$$

d — плотность металла.

как $V = V'$, то:

$$\Delta h = \frac{Q}{\pi d \sum_1^n \rho_i^2} \cdot \frac{\tau}{t}.$$

Толщина k элементарных слоев, т. е. толщина h_k слоя в точке с координатой ρ_k:

$$h_k = \frac{kQ}{\pi d \sum_1^n \rho_i^2} \cdot \frac{\tau}{t}.$$

По вычисленным h_k строится график зависимости почернения коллектора S от истинной толщины полупрозрачного слоя h и в дальнейшем пользуются этими данными при изучении слоев, полученных в аналогичных условиях. Для исключения случайных ошибок строится усредненный график $S(h)$ по нескольким экспериментам (см. рис. 1).

Экспериментальная часть

Эксперименты производились в вакуумной камере, схематически изображенной на рис. 2. В качестве испарителя применялся цилиндрический фарфоровый тигель диаметром 8 мм и глубиной около 30 мм. Нагрев осуществлялся спиралью из нихрома толщиной 1 мм. Для контроля температуры в процессе испарения служила хромель-алюмелевая термопара, помещенная в углублении дна тигля.

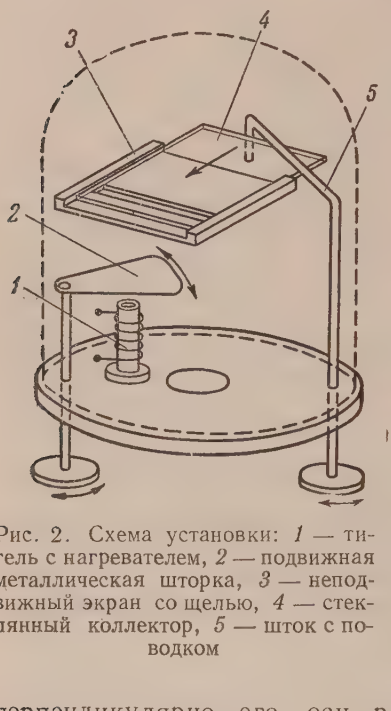


Рис. 2. Схема установки: *1* — тигель с нагревателем, *2* — подвижная металлическая шторка, *3* — неподвижный экран со щелью, *4* — стеклянный коллектор, *5* — шток с поводком

Фарфоровые тигли, очень хорошо зарекомендовавшие себя при многих видах исследований, изготовлялись путем заплавки одного конца фарфоровой трубки соответствующих размеров на электрической дуге. Углубление под термопару производилось в процессе заплавки и служило для фиксирования положения термопары относительно тигля. Термопара являлась реперной и градуировалась в вакууме по контрольной термопаре, помещенной в расплавленный металл. Проведенные измерения показали, что температура металла практически не зависит от его уровня в тигле при постоянной мощности нагрева. При экспериментировании необходимо следить за максимальной стабильностью температуры тигля.

На расстоянии около 40 мм от тигля перпендикулярно его оси располагался неподвижный металлический экран с длинной узкой щелью (4 × 80 мм), проходящей через ось тигля. Под экраном со щелью находилась металлическая шторка, позволяющая при необходимости закрывать щель от молекулярного пучка.

На неподвижном экране, в соответствующих направлениях, располагался стеклянный коллектор размером 9 × 12 см, который с помощью поводка и штока, выведенного из вакуумной камеры, можно было перемещать над щелью. Подвижная шторка и шток с поводком позволяют нанести на один и тот же коллектор до 15 полос испаряемого металла, меняя время нанесения каждой полосы. Фотометрируя в поперечном направлении по максимуму почернения можно найти зависимость $S(\tau)$, а фотометрируя вдоль какой-либо полосы — зависимость $S(\rho)$.

Предложенный фотометрический метод испытывался на висмутовых пленках. Выбор металла был обусловлен тем, что висмут не испытывает фазовых превращений в тонких пленках, обладает достаточно большой упругостью пара и относительно устойчив против окисления в тонких слоях

Испарение производилось при температурах 600 и 680°; при этом ско-
ть испарения изменялась в 6—7 раз. Несмотря на значительный интер-
скоростей испарения, мы не обнаружили влияния скорости конденса-
металла на зависимость величины почернения от толщины пленки.
Фотометрирование производилось на микрофотометре МФ-2. Время
учения слоев с почернением в максимуме 1,5÷2,0 менялось от 90 сек.
температуре 600° до 12 сек. при температуре 670°.
По ряду экспериментов был построен усредненный график зависимости
ернения S от толщины слоя h висмута. Зависимость хорошо подчиняется
внениям двух прямых:

$$S(h) = \begin{cases} 2{,}80 \cdot 10^5 h - 0{,}15 \text{ при } 0{,}05 \cdot 10^{-5} \text{ см} < h < 0{,}30 \cdot 10^{-5} \text{ см}, \\ 1{,}83 \cdot 10^5 h + 0{,}15 \text{ при } 0{,}30 \cdot 10^{-5} \text{ см} < h < 1{,}00 \cdot 10^{-5} \text{ см}. \end{cases}$$

эффициент при h имеет размерность [см$^{-1}$]. При толщине слоя
,30·10^{-5} см, по-видимому, происходит переход слоя висмута от дис-
тного к сплошному. Следствием этого является изменение закона
лощения света.
Заметим, что микрофотометр регистрирует почернение лишь при тол-
не, превышающей 0,05÷0,10·10^{-5} см; поэтому прямые не проходят че-
начало координат.
Предложенная методика исследования тонких пленок оказалась весьма
бной и эффективной для определения толщины полупрозрачных слоев
мута и других металлов. С ее помощью нам удалось обнаружить сущест-
вание указанного выше излома на кривой зависимости $S(h)$, присутствие
орого нельзя было ожидать на основании расчетных формул, например
сферического испарителя, которое не обнаруживалось при обычной
аботке фотометрических кривых.
Предложенная экспериментальная методика представляет значитель-
й интерес и уже используется нами для определения концентраций в
бой точке сплава переменного состава, полученного по методу С. А. Век-
нского с испарителями — цилиндрическими тиглями.

Харьковский политехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
24 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] С. А. Векшинский, Новый метод металлографического исследования спла-
1944. [2] М. И. Корсунский, С. А. Векшинский, ЖЭТФ, 15,
(1945).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ХИМИЯ

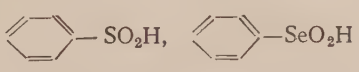
Член-корреспондент И. П. АЛИМАРИН и В. С. СОТНИКОВ

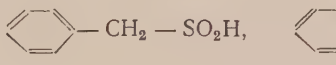
ИССЛЕДОВАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ СЕЛЕНИСТОЙ И ТЕЛЛУРИСТОЙ КИСЛОТ КАК АНАЛИТИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ

о настоящего времени исследователи большое внимание уделяли изу-
о органических реагентов, содержащих атомные группировки:
OOH,—OH, = NOH,—SH, $—NH_2$ и т. п. Значительно меньше изуча-
органические соединения, содержащие группы, в состав которых
ят мышьяк, сера и особенно фосфор.

ежду тем, органические реактивы, содержащие группы $—AsO_3H_2$,
$_3H_2$, представляют весьма большой интерес с аналитической точки
ия, что было показано в ряде работ [1–12].

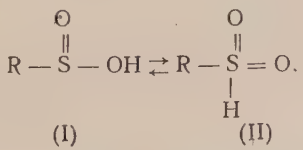
рганические соединения, содержащие группы $—SeO_2H$, $—SeO_3H$, $—TeO_2H$,
O_3H, еще не были изучены с целью применения их для количест-
ого анализа. Из литературных данных известно только краткое ука-
е Файгля [2] на то, что бензолселениновая кислота образует с четырех-
тными элементами малорастворимые осадки и что эти реактивы могут
использованы для анализа. Файгль также отмечает, что из реактивов,
ержащих сульфиновую или селениновую группу, способны осаждать
рехвалентные металлы только те, у которых остаток кислоты непо-
ственно присоединен к ароматическому ядру



чие же CH_2-группы  препят-
ет осаждению.

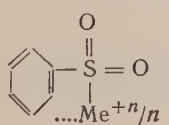
то утверждение оказалось неверным. Оба типа реагентов способны
дать из кислых растворов перечисленные ниже ионы, различие же за-
ается лишь в несколько большей растворимости соединений, содержа-
группу CH_2 (см. табл. 3).

айгль считает также, что бензолсульфиновая кислота способна к тау-
рному превращению [1,18]



(I) (II)

ходя из этих представлений, он приписывает образующемуся соеди-
ю следующее строение:



(Me = Ti^{+4}, Zr^{+4}, Th^{+4}).

Однако наше исследование показало, что реагирует первая форма и о разующиеся соединения представляют собой типичные соли соответству щих кислот, нерастворимые в органических растворителях (этиловом эф ре, хлороформе и др.).

Неверными оказались и выводы Файгля о способности церия (IV) кислом растворе образовывать осадки с бензолсульфиновой кислотой. В самом деле, как было установлено нами, при взаимодействии церия (I с бензолсульфиновой кислотой имеет место окислительно-восстановител ная реакция, в результате которой церий (IV) восстанавливается до цер (III), а бензолсульфиновая кислота ($R—SO_2H$) окисляется до бензолсул фоновой ($R—SO_3H$) и, кроме того, образуется дисульфон $(RSO_2)_2$— бел хлопьевидный осадок. Церий в трехвалентной форме количествен остается в растворе.

Аналогичный осадок образуется и при действии других сильных оки лителей.

Бензолселениновая кислота менее склонна к окислению и поэтому о с церием (IV) образует осадок.

Нами синтезирован и впервые обследован класс органических про водных селенистой кислоты, содержащий функционально-аналитическу группировку — SeO_2H: метил-, этил-, пропил-, бутил-, бензол- и нафт линселениновые кислоты, а также ряд органических производных сел нистой кислоты, содержащий различные заместители: *о*-нитро-, *п*-нитро *о*-карбокси-, *п*-метилбензолселениновые кислоты и др.

Кроме того, синтезированы и обследованы бензилсульфиновая, бе зилселениновая, бензолтеллуриновая кислоты.

Органические соединения такого типа благодаря наличию неоргани ческого кислотного остатка — SeO_2H или —TeO_2H реагируют в нейтрал ных или слабокислых растворах со многими элементами (см. табл. 1) образованием малорастворимых соединений.

Таблица 1

Результаты качественных реакций органических производных селенистой и теллур стой кислот с неорганическими ионами в нейтральной или слабокислой среде*

Реактив	Элементы																	
	$Cu^{(II)}$	Ag	Be	Ba	La	Al	Tl	Zr	Th	Ce^{IV}	Hf	Sn^{IV}	Pb	Nb	Ta	Bi	$Fe^{(III)}$	Co
$C_2H_5—SeONH_4$	—	+		—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
$C_4H_9—SeO_2NH_4$	—	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
—SeO_2NH_4	—	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
—SeO_2NH_4	+	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
O_2N— —SeO_2NH_4	—	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
H_3C— —SeO_2NH_4	—	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
—$CH_2—SeO_2NH_4$	—	—	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
—TeO_3NH_4	—	+	—	—	—	—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
—SeO_3NH_4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—TeO_3NH_4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Знак + образование осадка, — его отсутствие.

* Эта таблица показывает возможность ряда определений и разделений элем тов, о чем будет сообщено в других наших работах. Медь, серебро, свинец и коба осаждаются большим избытком реактива.

Напротив, металлические соли ароматических селенокислот (R—SeO_3H) им аналогичных теллурокислот (R—TeO_3H) хорошо растворимы в е, поэтому бензолселеноно- и бензолтеллуроновая лоты не могут иметь столь рокого применения в ана- е.

Таблица 2

Зависимость чувствительности реакций обнаружения различных ионов от молекулярного веса реактива

Реактив	Молекулярный вес	Чувствительность реакций, γ/мл			
		$Fe^{(III)}$	Bi	Ti	Zr
$(NH_4)_2SeO_3$	163	10,1	9,4	4,4	3,3
$C_3H_7—SeO_2NH_4$	172	7,8	- -	—	—
$C_6H_5—SeO_2NH_4$	206	2,7	2,6	1,3	1,0
$C_{10}H_7—SeO_2NH_4$	256	1,5	1,4	1,0	0,7

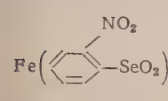
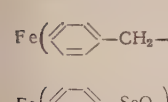
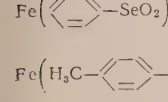
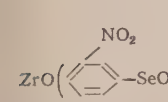
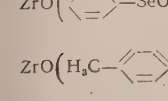
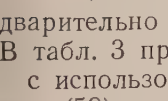
Из синтезированной груп- реактивов наибольший ерес для аналитических ей представляют арома- еские производные селени- й кислоты бензол- и наф- инселениновые кислоты, как они количественно ждают из кислых раство-

четырехвалентные элементы — титан, цирконий, гафний, торий, ий, олово, а так же ниобий, тантал, висмут и железо (III).

Избирательность действия бензол- и нафталинселениновой кислот может быть повышена за счет регулирования pH и применения комплексообразователей.

Таблица 3

творимость в воде бензолселенинатов железа и циркония

Соединение	Растворимость, моль/л
	$4,4 \cdot 10^{-7}$
	$5,6 \cdot 10^{-7}$
	$4,0 \cdot 10^{-7}$
	$3,4 \cdot 10^{-7}$
	$1,4 \cdot 10^{-7}$
	$1,2 \cdot 10^{-7}$
	$9,8 \cdot 10^{-8}$

Исследование показало, что из сильнокислых растворов, например в 2,0 *н* HNO_3, количественно осаждается бензол- и нафталинселенинатом аммония цирконий. Большинство других элементов не осаждается и не мешает определению циркония, за исключением олова (IV), титана, ниобия, тантала и четырехвалентного церия, образующих в сильнокислом растворе аналогичные осадки.

Влияние последних четырех элементов может быть легко устранено прибавлением перекиси водорода, которая образует с ними комплексные соединения и препятствует их осаждению (церий в кислой среде восстанавливается перекисью водорода до трехвалентного, а последний не образует с бензол- или нафталинселенинатом аммония нерастворимых соединений). Олово (IV) должно быть дварительно удалено осаждением сероводородом.

В табл. 3 приведены результаты растворимости некоторых соедине- с использованием в качестве индикаторов радиоактивных изотопов леза (59) и циркония (95).

Состав приведенных соединений был установлен на основании данных ического анализа высушенных осадков.

Следует отметить, что в практике аналитической химии уже давно ис- ьзуется селенистая кислота для отделения и определения циркония [4]), титана ([15]), висмута ([15]), ниобия, тантала и циркония ([16]), а также луровая кислота — для определения висмута ([17]) и др.

Однако органические производные этих кислот являются более ценны- аналитическими реагентами, так как они обладают большей чувстви-

тельностью и избирательностью действия, особенно при одновременном использовании маскирующих комплексообразующих реагентов.

Нами разработаны новые весовые и физико-химические методы определения четырехвалентных элементов — титана, циркония и др., а также висмута, железа (III), в присутствии других элементов, в промышленных и природных объектах с применением бензол- и нафталинселенинатов аммония (табл. 4 и 5).

Таблица 4

Результаты потенциометрического (*а*) и амперометрического (*б*) определения висмута

Взято Bi, мг	Найдено Bi, мг	
	а	*б*
16,90	16,92	—
16,90	16,93	—
8,45	8,44	—
8,45	8,45	—
4,23	4,23	4,23
4,23	4,24	4,22
2,12	—	2,10
2,12	—	2,13

Таблица 5

Результаты определения циркония в эвдиалите и титана — в титаномагнетите бензол- (*а*) и нафталинселенинатными (*б*), фениларсонатным (*в*) и купферонатным методами (*г*)

Элемент	Найдено MeO_2			
	а	*б*	*в*	*г*
ZrO_2	10,33 10,30	10,40 10,28	10,31 10,36	— —
TiO_2	41,83 41,74	41,97 41,69	— —	41,8 41,9

Принцип потенциометрического и амперометрического методов определения основан на осаждении элемента бензолселениновой кислотой с последующим растворением осадка в минеральной кислоте и иодометрическом титровании бензолселениновой кислоты

$$Bi(NO_3)_3 + 3C_6H_5SeO_2H = Bi(C_6H_5SeO_2)_3 + 3HNO_3$$

$$2C_6H_5SeO_2H + 6KJ + 6HNO_3 = (C_6H_5Se)_2 + 3J_2 + 6KNO_3 + 4H_2O$$

$$Bi \equiv 9J \equiv 9Na_2S_2O_3$$

В заключение следует отметить возможность радиометрического титрования с использованием радиоизотопов, определяемых элементов или органических реагентов, содержащих радиоизотопы селена или теллура.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступило
24 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] F. Feigl, Chemistry of Specific, Selektive and Sensitive Reactions, N. Y., 1949 p. 289. [2] F. Feigl, Österr. Chem. Ztg, **24**, 535 (1937). [3] J. Thomas, J. Chem. Soc., **95**, 342 (1909). [4] J. Dubsky, Chem. Obzor., **9**, 173, 189 (1934). [5] S. Krishna, H. Sing, J. Am. Chem. Soc., **50**, 792 (1928). [6] И. Алимарин, О. Медведева, Зав. лаб., **11**, 254 (1945). [7] И. Алимарин, Б. Фрид, Зав. лаб., 6 823 (1937); **7**, 913 (1938). [8] И. Алимарин, С. Аликберов, Зав. лаб., № 4 (1957). [9] В. Кузнецов, ЖПХ, **13**, 1257 (1940). [10] В. Кузнецов, ДАН, **31**, 898 (1941); **33**, 45 (1941). [11] F. Hecht, J. Donau, Anorganische Mikrogewichtsanalyse, Wien 1940, S. 210. [12] C. Banks, R. Davis, Anal. Chim. Acta, **12**, 418 (1955). [13] A. Classen, Zs. Anal. Chem., **117**, 252 (1939). [14] S. Simpson, W. Schumb, Ind. and Eng. Chem., Anal. Ed., **5**, 211 (1933). [15] R. Berg, M. Teitelbaum, Zs. anorg. Chem., **189**, 101 (1930). [16] И. Алимарин, Е. Степанюк, Зав. лаб. **22**, 10, 1149 (1956). [17] C. Deshmukh, E. Varkey, J. Ind. Chem. Soc., **30**, 64 (1953). [18] Е. Гурьянова, Я. Сыркин, ЖФХ, **23**, 2, 105 (1949).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ХИМИЯ

О. А. ЕСИН и В. А. ЧЕЧУЛИН

ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСПЛАВОВ $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$

(Представлено академиком И. П. Бардиным 2 X 1956)

Литературные данные по электролизу расплавов $CaO—Al_2O_3—SiO_2$ не-ногочисленны. Так, Бокрис и соавторы ([1]) показали выполнимость закона радея при выделении кислорода в виде CO и CO_2 на угольном аноде из плавов $CaO—SiO_2$. Но ни они, ни Мартин и Дердж ([2]), пропускавшие через жидкие шлаки $CaO—Al_2O_3—SiO_2$, не обнаружили каких-либо годных продуктов. Возможно, что это было обусловлено малым удельным весом Si, Al и Ca, заметной упругостью паров и высокой химической ивностью их, а также образованием ионов низшей степени окисления. Чтобы уловить продукты катодного процесса, нами была применены качестве катодов жидкие чугун (4,5% C) и медь, способные растворять вый Si и Al, а вторая, кроме того, Ca, Mg и Fe. Опыты проводились и ранее ([3]), в ячейке из плавленной магнезии, имевшей анодное = 40—45 мм; $d = 15$—18 мм), промежуточное ($h = 55$ мм; $d = 7$ мм) и годное ($h = 55$; $d = 7$ мм) отделения, соединенные тонкими каналами =2—3мм). Ток к катодам, весившим от 3 до 8 г, подводился снизу с помощью льфрамовых или молибденовых проволочек. Анодами служили угольные ржни. На дне промежуточного отделения находился «свидетель» (жид-й чугун или медь), контролирующий процессы в отсутствие тока. Количество пропущенного электричества измерялось медным кулонометром. ход по току определялся по изменению состава и веса катода и «свидетеля».

Как видно из табл. 1, данные которой относятся к ячейкам близких

Таблица 1

Результаты опытов по электролизу расплавов $CaO — Al_2O_3 — SiO_2$

Состав шлака, %				Температура, °C	Плотность тока, а/см²	Пропущено тока, а-час.	Материал катода	Выход по току, %		
O_2	Al_2O_3	CaO	MgO					Si	Al	общий
,5	38,4	48,6	7,1	1385	1,29	0,99	чугун	65,9	13,9	89,8
,4	41,3	46,6	6,1	1370	1,03	0,95	медь	68,1	15,1	83,2
,3	41,0	46,2	5,9	1380	1,17	0,72	чугун	71,0	14,3	85,3
,9	28,8	45,4	7,5	1380	1,17	0,87	медь	47,2	11,0	58,2
,2	28,9	45,9	7,2	1375	1,29	1,11	чугун	46,3	9,6	55,9
,5	11,0	43,9	8,0	1370	2,47	0,59	чугун	39,7	4,5	44,2
,0	11,0	44,5	7,0	1380	1,17	1,02	чугун	39,5	4,2	43,7
,2	10,8	44,0	6,8	1380	1,17	1,17	медь	38,7	3,6	42,3
,7	18,5	35,0	8,3	1380	1,81	1,25	чугун	41,0	7,9	48,9
,2	18,6	35,2	7,2	1370	1,17	1,51	чугун	40,1	7,2	47,3
,5	13,0	20,7	12,2	1380	1,29	0,90	чугун	57,3	4,8	62,1
,1	13,2	21,0	11,1	1390	1,29	0,79	медь	59,2	5,3	64,5
,2	46,3	47,2	6,1	1440	1,81	0,82	чугун	—	24,0	24,0

Примечания. 1. Данные относятся к катодным отделениям с $h/d = 7{,}5$—8,0. Содержание окислов железа в шлаках превышало 0,15%. 3. Окись магния вводи-ь в шлак для уменьшения разъедания стенок электролизера.

размеров, основным катодным продуктом при электролизе расплавов $CaO—Al_2O_3 — SiO$ является кремний. Его выход по току меняется в пределах от 38 до 71%, в то время как для Al он заметно меньше и не превосходит 24%. Суммарная степень использования тока колеблется от 42 до 90%, т. е. нередко далека от 100%.

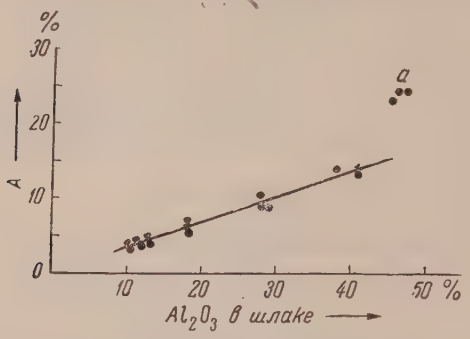


Рис. 1. Выходы алюминия по току (A) в зависимости от содержания Al_2O_3 в шлаках при hd катодного отделения равной 8 (точки a для расплава 47% CaO, 47% Al_2O_3, 6% MgO)

Чтобы выяснить, на какой неучтенный процесс расходовалась остальная часть пропущенного количества электричества, сравним зависимости выходов по току Al и Si от содержания их в шлаке. Как показывает рис. 1, степень использования тока для алюминия закономерно увеличивается вместе с содержанием Al_2O_3 в расплаве. Напротив, выход по току кремния с ростом содержания SiO_2 справа падает с 71 до 38%, а затем повышается до 59%. Его минимум отвечает шлакам с наименьшей вязкостью. Рис. 2 иллюстрирует определенный параллелизм между выходом по току кремния и взятыми из литературы ([4-6]) значениями вязкости расплавов. Отсюда вытекает, что снижение степени использования тока обусловлено процессом, скорость которого определяется диффузией каких-то частиц в электролите.

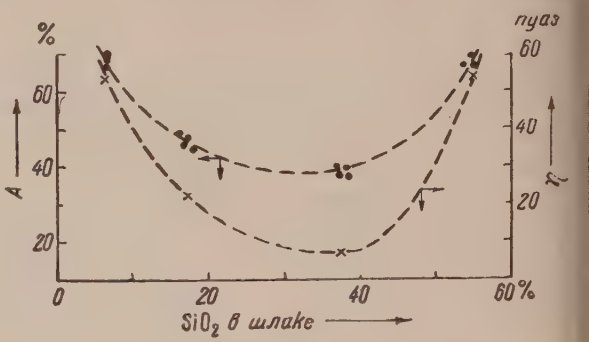


Рис. 2. Выходы кремния по току (A) и вязкость (η) расплавов $CaO — Al_2O_3 — SiO_2$ для ячеек с $h/d =$

В пользу этого говорит и закономерное снижение выхода Si по току с ростом температуры, который понижает вязкость. Так, для шлака состава 36% CaO, 18% Al_2O_3, 39% SiO_2 и 7% MgO использование тока составляло 52% для 1290°, 45% для 1350° и 41% для 1380°. Об этом свидетельствует также и повышение выхода по току Si с ростом отношения высоты катодного отделения (h) к его диаметру (d) (рис. 3). Последнее обстоятельство указывает на окисление атмосферной печи частиц, снижающих использование тока.

Этими частицами не являются только ионы Fe^{3+}, так как восстановление их на катоде до Fe^{2+} и регенерация на границе с газовой фазой ([3]) вряд ли могут заметно сказаться на выходах по току вследствие малого содержания в расплавах окислов железа (до 0,15 %) и высоких плотностей тока (до 6 а/см²). Что касается ионов Mg^{2+} и Ca^{2+}, то восстановление их до одновалентных частиц в принятых условиях кажется мало вероятным. В какой-то небольшой мере, может быть, следует считаться лишь с образованием субсоединений Al ([7]). К этому следует добавить, что в медных катодах кальций нами вообще не был обнаружен, а выход по току магния был очень мал и не превышал 3—4%. Конечно, не исключена возможность, что использование тока для них было несколько выше, так как они могли теряться благодаря испарению.

По-видимому, наиболее вероятным конкурирующим процессом является все же перезарядка ионов кремния:

$$Si^{4+} + 2e \rightarrow Si^{2+}.$$

ществование двухвалентного кремния в шлаках показано большим ом наблюдений ([8]), а на возможность процесса перезарядки указывает ма соответствующих поляризационных кривых ([9]).

Сравнительно быстрая диффузия двухвалентного кремния к зеркалу плита и окисление его атмосферой печи до трехвалентного препятствуют развитию процесса $+ 2e \rightarrow Si$ и тем самым снижают выход по кремния.

Меньшее использование при разряде Al и Mg сравнению с Si находится в качественном соответствии с большой прочностью этих окислов, точнее — с возрастающим значением стандартного изобарного потенциала, вычисленного с учетом энергии связи этих окислов с расплавом и теплот образования интерметаллических соединений с катодом (FeSi, Cu_2Mg и др.).

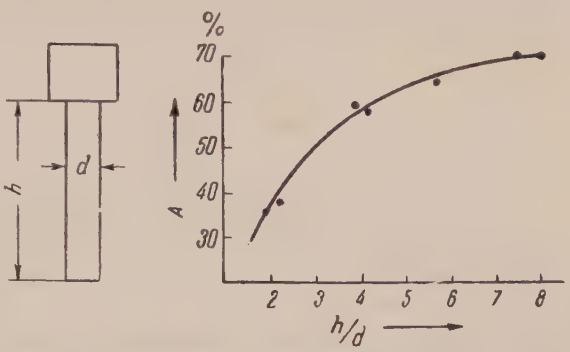


Рис. 3. Зависимость степени использования тока (A) (для Si) от h/d катодного отделения для шлака состава 47% CaO, 41% Al_2O_3, 6% SiO_2 и 6% MgO при 1390°

В заключение приводим данные по анодному растворению кремния из сплавов Fe—Si (21,3% Si) и Cu—Si (17,5% Si) в шлаках различного состава (табл. 2).

Таблица 2

Анодное растворение кремния в расплавах $CaO — Al_2O_3 — SiO_2$

Состав шлака, %				Температура, °С	Состав анода до опыта *		Плотность тока, а/см²	Пропущено тока, а-час	Выход по току, %
CaO	Al_2O_3	SiO_2	MgO						
,8	18,3	38,9	7,4	1340	Fe — Si	(21,3)	1,03	1,72	104,0
,2	11,3	37,9	6,5	1310	Fe — Si	(21,3)	1,17	1,35	89,2
,9	11,0	36,5	8,0	1370	Fe — Si	(21,3)	1,03	1,17	91,0
,2	38,7	6,3	7,0	1370	Fe — Si	(21,3)	1,29	0,79	97,5
,7	13,0	55,2	12,2	1380	Fe — Si	(21,3)	1,03	0,83	95,3
,0	46,2	1,2	7,0	1450	Cu — Si	(17,5)	1,03	0,94	98,3
,2	44,0	2,5	7,3	1450	Cu — Si	(17,5)	1,17	1,12	103,2

* В скобках — процент Si.

Как следует из табл. 2, оно происходит с выходами по току от 90 до 104%. , а также возможность получения высоких катодных выходов по току детельствует о выполнении закона Фарадея при электролизе расплавов $O—Al_2O_3—SiO_2$.

Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова

Поступило
1 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] I. Bockris, I. Kitchener, A. Davies, Trans. Farad. Soc., **48**, 536 (52). [2] A. E. Martin, G. Derge, Met. Techn., **10**, № 5, 1 (1943). [3] О. А. син, П. М. Шурыгин, ДАН, **94**, 1145 (1954). [4] Н. В. Рулла, Теория и актика металлургии, № 1, 53 (1936). [5] Р. Мак-Кефери, Сов. металлург., № 3, (1936). [6] М. А. Павлов, Металлургия чугуна, 1949. [7] Л. Н. Антипин, , **99**, 1019 (1954). [8] П. В. Гельд, Тр. Урал. политехн. инст. им. С. М. Кирова, 0 (1954). [9] О. А. Есин, Л. К. Гаврилов, ЖФХ, **30**. 374 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ХИМИЯ

Академик И. Л. КНУНЯНЦ и Н. С. ВЯЗАНКИН

ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ДИМЕРИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДНЫХ α, β-НЕНАСЫЩЕННЫХ КИСЛОТ

Ранее нами было установлено [1], что основным продуктом непрямого электрохимического восстановления акрилонитрила при определенных условиях является динитрил адипиновой кислоты. Поскольку найденный метод восстановительной димеризации отличается хорошей воспроизводимостью результатов и позволяет проводить восстановление в сопоставимых условиях на различных амальгамах, представлялось возможным изучение зависимости явления гидродимеризации от строения восстанавливаемых соединений и природы амальгам.

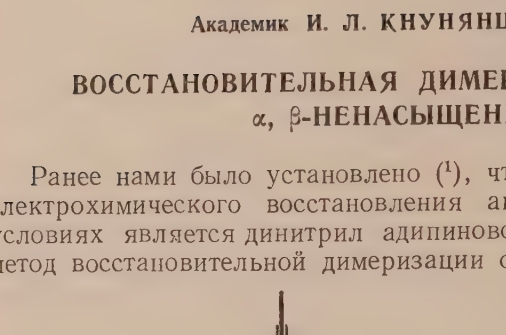


Рис. 1. *А* — реакционный сосуд, *Б* — электролизер

С этой целью была проведена восстановительная димеризация ряда различных производных α,β-ненасыщенных кислот.

Восстановительная димеризация осуществлялась в приборе, представляющем собой сочетание электролизера для получения амальгам с реакционным сосудом, в котором получающиеся амальгамы взаимодействовали с реакционной смесью (рис. 1). Поверхность ртутного катода была равной 1,80 дм², поверхность амальгамы в реакционнном сосуде 2, 35 дм². Амальгамы получались электролизом 40%-х растворов гидроокисей натрия или калия и насыщенного раствора LiCl при силе тока 8—9 а и температуре 14—16°. Реакционные смеси состояли из восстанавливаемых веществ и 20%-й HCl (1 : 2,5 мол.). Реакции прерывались после появления щелочной реакции по фенолфталеину.

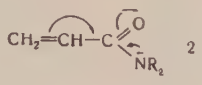
Исследование показало, что одним из факторов, влияющих на образование гидродимеров, является характер сопряженной системы восстанавливаемых веществ. Это наблюдение нельзя считать неожиданным, если предположить, что образованию гидродимера предшествует восстановление молекул до промежуточных радикалов с последующей их димеризацией согласно схеме:

$$e + CH_2{=}CH{-}C\overset{O}{\underset{OR}{<}} + H^+ \longrightarrow \cdot CH_2CH_2COOR$$

$$2 \cdot CH_2CH_2COOR \longrightarrow (CH_2CH_2COOR)_2$$

Известно, что несопряженные этиленовые связи не восстанавливаются амальгамами. На примерах стирола и винилацетата нами установлено, что

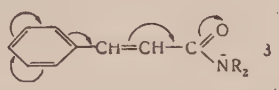
ряжения этиленовой связи с бензольным ядром или неподеленной парой
тронов атома кислорода также не достаточно для восстановления двой-
связи на амальгамах калия или лития. В случае амидов и диэтилами-
α,β-непредельных кислот сопряжение С—С и С—О-групп, по-видимому,
ительно ослабляется конкурирующим сопряжением неподеленной па-
электронов атома азота с π-электронами связи С—О:



2

м можно объяснить тот факт, что амиды и диэтиламиды акриловой и
тоновой кислот восстанавливаются весьма трудно и не дают гидроди-
ов, а амид и диэтиламид метакриловой кислоты не восстанавли-
тся.

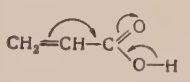
В диэтиламиде и дифениламиде коричной кислоты имеет место сопря-
ие π-электронов карбонильной группы, этиленовой связи и бензольного
а:



3

дствие чего конкурирующее сопряжение, по-видимому, менее про-
ается. Из табл. 1 видно, что эти соединения, наряду с продуктами нор-
ного восстановления, дают гидродимеры.

Сказанное находится в согласии с литературными данными ([2]) по гид-
имеризации α,β-ненасыщенных кислот, в которых также имеется кон-
ирующее сопряжение:



4

этом случае явление восстановительной димеризации характерно только
кислот, в β-положении которых находятся C_6H_5—CH_2=CH— и им подоб-
группировки. Связь между явлением сопряжения и способностью обра-
вать гидродимеры наблюдается также и в ряду эфиров и нитрилов α,β-
асыщенных кислот (см. табл. 1). Так, например, диэтиловый эфир ма-
новой кислоты, у которого сопряженная система несколько нарушена
дает гидродимер с меньшим выходом, чем диэтиловый эфир фумаровой
лоты. Уменьшение выхода гидродимера в случае метилметакрилата и
тствие явления восстановления при гидрировании нитрила метакрило-
кислоты амальгамами калия и лития можно объяснить уменьшением
ряжения кратной связи с карбонильной группой вследствие гипер-
ьюгационного эффекта метильной группы. Вместе с тем из полученных
ных видно, что и другие факторы могут влиять решающим образом на
ение восстановительной димеризации. Так, отсутствие явления восстанов-
ия при обработке этилового эфира β,β-диметилакриловой кислоты
льгамами натрия и калия, по-видимому, объясняется экранированием
ложения двумя метильными группами. С увеличением молекулярного
спиртового остатка в ряду акриловых эфиров выход гидродимера па-
; наконец, трудно объяснимым является факт повышенной устойчиво-
нитрилов α,β-ненасыщенных кислот по сравнению с соответствующими
рами к воздействию амальгам щелочных металлов.

Из полученных нами результатов вытекает, что амальгамы резко от-
аются по способности восстанавливать производные α,β-непредельных

каз 1212

Таблица 1

Исходное соединение	Восстановитель	Строение гидродимера	Выход %
$CH_2=CHCOOCH_3$	K(Hg)	$(CH_2CH_2COOCH_3)_2$	26,7
$CH_2=CHCOOC_2H_5$	K(Hg)	$(CH_2CH_2COOC_2H_5)_2$	52,0
$CH_2=CHCOOC_3H_7$-*н*	K(Hg)	$(CH_2CH_2COOC_3H_7$-*н*$)_2$	34,9
$CH_2=CHCOOC_4H_9$-*н*	K(Hg)	$(CH_2CH_2COOC_4H_9$-*н*$)_2$	27,8
$CH_2=C(CH_3)COOCH_3$	K(Hg)	$(CH_2CH(CH_3)COOCH_3)_2$	23,1
$CH_2=C(CH_3)COOCH_3$	Na(Hg)	$(CH_2CH(CH_3)COOCH_3)_2$	16,1
$CH_3CH=CHCOOC_2H_5$	K(Hg)	$(CH_3CHCH_2COOC_2H_5)_2$	71,0
$(CH_3)_2C=CHCOOC_2H_5$	Li(Hg)	$[(CH_3)_2CCH_2COOC_2H_5)]_2$ *	31,4
$(CH_3)_2C=CHCOOC_2H_5$	Na (Hg); K(Hg)	$(C_2H_5OOCCHCH_2COOC_2H_5)_2$	**
$C_2H_5OOCCH=CHCOOC_2H_5$, *цис*	K(Hg)	$(C_2H_5OOCCHCH_2COOC_2H_5)_2$	7,3
$C_2H_5OOCCH=CHCOOC_2$ H_5 *цис*	Al(Hg)	—	0,0
$C_2H_5OOCCH=CHCOOC_2H_5$, *транс*	K(Hg)	$(C_2H_5OOCCHCH_2COOC_2H_5)_2$	28,6
$C_2H_5OOCCH=CHCOOC_2H_5$, *транс*	Al(Hg)	$(C_2H_5OOCCHCH_2COOC_2H_5)_2$	12,7
$C_6H_5CH=CHCOOC_2H_5$	K(Hg)	$(C_6H_5CHCH_2COOC_2H_5)_2$	51,3
$CH_2=C(C_6H_5)COOC_2H_5$	K(Hg)	$(CH_2CH(C_6H_5)COOC_2H_5)_2$ *	27,8
$CH_2=CClCN$	K(Hg)	$(CH_2CH_2CN)_2$	68,1
$CH_3CH=CHCN$	Li(Hg)	$(CH_3CHCH_2CN)_2$ *	37,0
$CH_3CH=CHCN$	Na(Hg); K(Hg)	—	**
$(CH_3)_2C=CHCN$	K(Hg); Li(Hg)	—	**
$CH_2=C(CH_3)CN$	K(Hg); Li(Hg)	—	**
$C_6H_5CH=CHCN$	K(Hg)	$(C_6H_5CHCH_2CN)_2$ *	60,0
$C_6H_5CH=CHCN$	Al(Hg)	$(C_6H_5CHCH_2CN)_2$	22,2
$C_6H_5CH=CHCON(C_2H_5)_2$ ***	K(Hg)	$[C_6H_5CHCH_2CON(C_2H_5)_2]_2$ *	22,7
$C_6H_5CH=CHCON(C_6H_5)_2$ ***	K(Hg)	$[C_6H_5CHCH_2CON(C_6H_5)_2]_2$ *	5,2

* Соединения получены впервые.
** Исходные соединения не восстанавливаются.
*** Восстановление проводилось в 30%-м растворе CH_3COOH в спирте.

кислот с образованием гидродимеров. Из подвергавшихся исследованию соединений (см. табл. 1) на амальгаме алюминия во влажном эфире по методу Вилдса и Сьютона [4] гидродимеризуются только эфиры малеиновой и фумаровой кислот и производные коричной кислоты. У амальгам щелочных металлов реакционная способность возрастает от амальгамы натрия

Таблица 2

Формула	Т. кип., °С	Давл., мм рт. ст.	n_d^{20}	d_4^{20}	C, % найд.	C, % выч.	H, % найд.	H, % выч.	N, % найд.	N, % выч.
$(CH_2CH_2COOCH_3)_2$	111—113	10	1,4288	1,0642	55,38	55,16	8,00	8,10	—	—
$(CH_3CH_2COOC_2H_5)_2$	113—116	8	1,4283	1,0085	59,18	59,38	9,04	8,97	—	—
$(CH_2CH_2COOC_3H_7$-*н*$)_2$	152—154	13	1,4301	0,9804	62,75	62,58	9,44	9,63	—	—
$(CH_2CH_2COOC_4H_9$-*н*$)_2$	141—143	4	1,4375	0,9631	65,32	65,08	10,21	10,14	—	—
$(CH_2CH(CH_3)COOCH_3)_2$	108—112	12	1,4334	1,0188	59,23	59,38	8,93	8,97	—	—
$(CH_3CHCH_2COOC_2H_5)_2$	109—115	4	1,4350	0,9886	62,40	62,58	9,58	9,63	—	—
$[(CH_3)_2CCH_2COOC_2H_5]_2$	117—118	2	1,4521	0,9950	64,81	65,08	10,12	10,14	—	—
$(C_2H_5OOCCHCH_2COOC_2H_5)_2$*	179—182	4	1,4468	1,4475	55,34	55,46	7,45	7,50	—	—
$(C_2H_5OOCCHCH_2COOC_2H_5)_2$ **	178—179	3	1,4467	1,4461	55,17	55,46	7,59	7,50	—	—
$(CH_2CH_2CN)_2$	140—142	41	1,4418	0,9528	66,87	66,65	7,61	7,45	25,73	25,9
$(CH_3CHCH_2CN)_2$	121	3	1,4524	0,9524	70,76	70,56	8,71	8,88	20,39	20,9

* Получен восстановительной димеризацией диэтилового эфира малеиновой кислоты.
** Продукт гидродимеризации диэтилового эфира фумаровой кислоты.

к амальгаме лития, т. е. параллельно увеличению нормального потенциал этих амальгам. На амальгаме лития, в частности, удалось провести восста новительную димеризацию этилового эфира β,β-диметилакриловой кислот и нитрила кротоновой кислоты, не восстанавливающихся на других амал гамах. В сопоставимых условиях на амальгаме натрия выход гидродим ра на 10—20% ниже, чем на амальгаме калия. Строение полученных ги родимеров подтверждалось идентификацией кислот и образованием из кисл соответствующих циклопентанонов. Исследование показало, что во становительная димеризация, когда это возможно, приводит к образов нию смеси стереоизомеров. Гидродимеризация α-хлоракрилонитри (см. табл. 1) сопровождается замещением галоида на водород. Продуктам

Таблица 3

Формула	Т. пл., °С	Растворитель для кристаллизации	С, %		Н, %		N, %	
			найд.	выч.	найд.	выч.	найд.	выч.
$HCH_2COOC_2H_5)_2$	116—117	Спирт	74,21	74,54	7,41	7,40	—	—
$(C_6H_5)COOC_2H_5)_2$ *	111—113	Спирт	74, 2	74,54	7,51	7,40	—	—
	36—38		74,40	74,54	7,48	7,40	—	—
$HCH_2CN)_2$ *	213—215	Ацетон	83,31	83,05	6,26	6,20	11,08	10,75
	153—155	Спирт	82,91	83,05	6,32	6,20	11,01	10,75
$HCH_2CON(C_2H_5)_2]_2$	175—177	Спирт	76,11	76,43	8,74	8,88	6,62	6,85
$HCH_2CON(C_6H_5)_2]_2$	288—289	Диметилформамид	83,68	83,97	6,09	6,04	4,60	4,66

робной кристаллизацией выделены мезо- и *d,l*-формы. В остальных случаях приведены темпе-
плавления менее растворимых в указанных растворителях форм.

ции являются адиподинитрил и пропионитрил. Параллельно восста-
тельной димеризации метилакрилата протекает процесс его омыления,
ильно снижает выход гидродимера. Свойства полученных гидроди-
в представлены в табл. 2 и 3.

нститут элементоорганических соединений
Академии наук СССР

Поступило
23 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

И. Л. Кнунянц, Н. С. Вязанкин, Изв. АН СССР, ОХН, **1957**, № 2.
Л. Кнунянц, Н. П. Гамбарян, Усп. хим., **23**, 781 (1954). [3] D. G. J.
ton, S. F. D. Orr, J. Chem. Soc., **1955**, 2170. [4] A. L. Wilds, R. E. Sut-
J. Org. Chem., **16**, 1371 (1951).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ХИМИЯ

Член-корреспондент АН СССР Д. Н. КУРСАНОВ, Н. К. БАРАНЕЦКАЯ
и В. Н. СЕТКИНА

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ХЛОРИСТОГО БЕНЗИЛПИРИДИНИЯ С ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛЛИТИЕМ

В настоящей работе изучалось взаимодействие циклопентадиениллития (I) с хлористым бензилпиридинием (II).

Можно было ожидать, что хлористый бензилпиридиний будет бензилировать циклопентадиеновое кольцо. Однако вместо ожидаемых бензилзамещенных циклопентадиена было выделено вещество (III), которое на основании данных анализа и определения мол. веса имело формулу $C_{17}H_{15}N$.

Выделенное вещество III представляет собой устойчивые на воздухе золотисто-желтые кристаллы, хорошо растворимые в ацетоне, нитробензоле, хлороформе, пиридине, хуже в диоксане, спирте, бензоле, нерастворимые в воде, эфире, петролейном эфире и в четыреххлористом углероде.

При температуре выше 180° соединение III, не плавясь, разлагается.

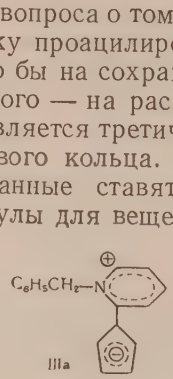
Вещество растворяется в разбавленных кислотах и вновь выпадает из раствора при действии щелочей. С целью определения строения полученного вещества мы провели его каталитическое гидрирование над Pt-черным в спирте и ледяной уксусной кислоте при атмосферном давлении ([1]). Оказалось, что один моль III поглощает пять молей водорода, что указывает на наличие в молекуле исследуемого вещества пяти двойных связей. К тому же выводу приводит и определение иодного числа.

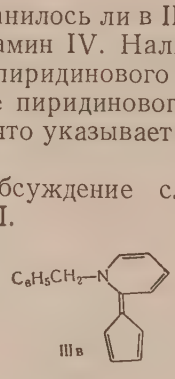
При гидрировании был получен амин (IV), превращенный затем в хлороплатинат и иодметилат, анализы которых соответствовали формулам $C_{17}H_{25}N \cdot {}^1/_2H_2PtCl_6$ и $C_{18}H_{28}NJ$.

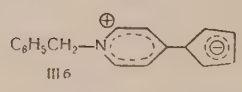
Из литературы известно ([2]), что действие щелочных реагентов на пиридиниевые соли зачастую вызывает расщепление пиридинового кольца по азот-углеродным связям.

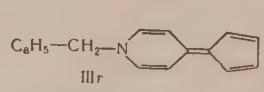
Для выяснения вопроса о том, сохранилось ли в III пиридиновое кольцо, мы сделали попытку проацилировать амин IV. Наличие третичного азота в амине IV указало бы на сохранение пиридинового кольца в веществе III, а наличие вторичного — на раскрытие пиридинового кольца. Опыт показал, что амин IV является третичным, что указывает на сохранение в молекуле III пиридинового кольца.

Приведенные данные ставят на обсуждение следующие возможные структурные формулы для вещества III.



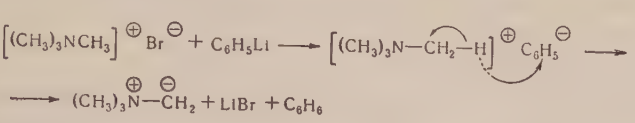




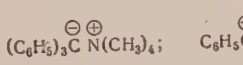


В этой связи представляло интерес получить экспериментальное подтверждение полярности молекулы вещества III. С этой целью был измерен ди-

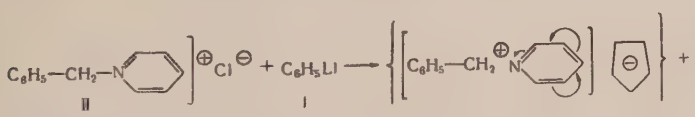
ьный момент III. Измерение дипольного момента по нашей просьбе было олнено А. Н. Шидловской в лаборатории чл.-корр. АН СССР проф. К. Сыркина, которым мы выражаем глубокую благодарность. Оказа-, что дипольный момент вещества III имеет исключительно высокую органического соединения величину, равную 9,7 *D*.
Эта величина дипольного момента находится в резком несоответствии ульвеновым строением и подтверждает полярную природу нашего ества, которое, следуя номенклатуре, предложенной Виттигом, долж-быть названо бензилпиридинийциклопентадиенилидом.
Благодаря работам Виттига ([3]) известно, что при действии на четвертич- соли аммония фениллития образуются биполярные ионы — «илиды». , например, при взаимодействии бромистого тетраметиламмония с фе-литием образуется метилид:



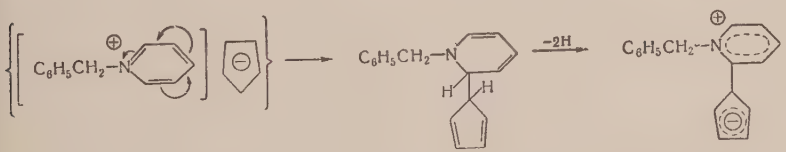
ако еще из работ Шленка ([4]) известно также, что при реакциях чет-ичных солей аммония с калий- и натрийорганическими соединениями зуются солеобразные соединения, у которых положительно заряжен-группа аммония ионно связана с отрицательно заряженным углеводо-ным остатком. К таким соединениям относятся трифенилметилтетра-иламмоний, бензилтетраметиламмоний и др.



знивая различные случаи образования четвертичных солей Шленка и дов, Виттиг пришел к выводу, что устойчивость солей Шленка зависит одвижности атомов водорода в радикалах, связанных с положительно яженным атомом азота, а также от протоноакцепторной способности она. В тех случаях, когда катион четвертичной соли содержит подвиж-α-водородный атом, а анион является сильным акцептором протонов, исходит расщепление четвертичной соли с образованием илида.
В исследуемом нами случае при взаимодействии хлористого бензилпири-ия с циклопентадиенилли тием вначале, вероятно, образуется четвертич-соль аммония типа солей Шленка.



ее устойчивый анион циклопентадиенила алкилирует места наименьшей тронной плотности пиридинового кольца (α- и γ-положения):

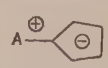


м происходит отщепление двух атомов водорода* (что следует из дан- анализа вещества III), с образованием более энергетически выгодного олярного соединения с устойчивым циклопентадиенильным анионом ([5]).

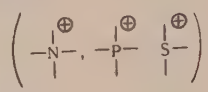
Выделение водорода мы не обнаружили вероятно из-за побочных окислительно-вос-ительных процессов.

В последнее время в литературе появился ряд сообщений о биполярных соединениях, содержащих отрицательно заряженный циклопентадиенильный остаток. К таким соединениям относятся трифенилфосфонийциклопентадиенилид ([6]), пиридинийциклопентадиенилид ([7]), диазоциклопентадиен ([8]). Ранее были открыты неустойчивые флуоренилиды аммония ([3,9]) и сульфония ([10]).

В общем виде их можно представить так:

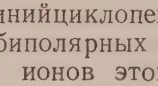


где А — атом в ониевом состоянии.



В большинстве случаев это яркоокрашенные кристаллические вещества. Одни из них плавятся при высокой температуре, другие разлагаются, не плавясь. Они растворимы в полярных растворителях и не растворимы в неполярных. При действии на них разбавленных кислот они растворяются, при подщелачивании снова осаждаются. С галоидными алкилами (CH_3J, $C_6H_5CH_2Br$ и др.) они образуют соли.

Обычно такие биполярные соединения получают из ониевых солей при действии на них оснований, которые, отщепляя протон от ониевого соединения, создают возможность для образования биполярного иона. Во всех биполярных соединениях этой группы положительно заряженный ониевый атом всегда непосредственно связан с анионом циклопентадиенила, как это видно на примере пиридинийциклопентадиенилида



Полученный нами бензилпиридинийциклопентадиенилид обладает всеми выше указанными свойствами биполярных ионов. Однако в отличие от ранее описанных биполярных ионов этого типа наше вещество II является первым представителем устойчивых биполярных ионов, у которого отсутствует непосредственная связь между положительно заряженным атомом азота и углеродом отрицательно заряженного циклопентадиенового ядра.

Экспериментальная часть

1. Получение циклопентадиенилли тия. К 29,18 бутиллития, полученного по методу Гильмана ([11]), прибавляли по каплям при перемешивании 33,10 г циклопентадиена. Реакцию проводили при охлаждении реакционной колбы ледяной водой. После прибавления циклопентадиена перемешивание продолжалось еще два часа при комнатной температуре. Для определения выхода C_5H_5Li его превращали в бис-циклопентадиенилкарбоновую кислоту ([12]). Выход C_5H_5Li составлял 71,9%.

2. Получение бензилпиридиний циклопентадиенилида. В круглодонную трехгорлую колбу с мешалкой и обратным холодильником помещали 102,9 г размельченного в сухой камере хлористого бензилпиридиния, полученного конденсацией хлористого бензила с пиридином и 150 мл абс. эфира. К эфирной суспензии хлористого бензилпиридиния при энергичном перемешивании прибавляли суспензию циклопентадиенилли тия в эфире. Смесь перемешивали в течение 20 часов при комнатной температуре, после чего продукты реакции обрабатывали водой. При этом выпадал осадок, из которого кристаллизацией из бензола бы

елено 6,55 г вещества III. Из эфирного слоя получено еще 12,14 г III. дий выход составлял 24,5% от взятого в реакцию циклопентадиенил ия*.

Мол. вес 232,0 (криоскопически из нитробензола); для $C_{17}H_{15}N$ вы-лено 233,3.

Найдено %: C 87,51; 87,43; H 6,47; 6,28; N 5,95; 5,89
$C_{17}H_{15}N$. Вычислено %: C 87,52; H 6,48; N 6,01.

3. Исследование строения и свойств $C_{17}H_{15}N$.

а. Определение йодного числа для $C_{17}H_{15}N$. Определение проводили в рас-ре хлороформа. Найдено значение йодного числа 327,1; 321,2. Вычислено пяти двойных связей 342,5.

б. Гидрирование $C_{17}H_{15}N$. Гидрирование продукта взаимодействия хло-того бензилпиридиния и циклопентадиениллития проводили над ернью в спирте и ледяной уксусной кислоте при атмосферном давлении.

	Навеска вещества, г	Количество поглощенного водорода, мл	Количество водорода, рассчит. на 5 двойных связей
рт	0,5019	232	241
яная уксусная ота	0,5631	259	270

в. Анализ солей гидрированного амина. Хлороплатинат $C_{17}H_{25}N \cdot H_2PtCl_6$ (т. разл. 140°) найдено % Pt 21,93; 21,82; вычислено 21,77. метилат $C_{18}H_{28}NJ$ (т. разл. 160—170°) найдено % J 32,82; 33,00; вычис-о 32,94.

г. Ацилирование гидрированного амина. Ацилирование гидрирован-о амина проводилось в виде его хлоргидрата уксусным ангидридом еде пиридина ([13]). Взято уксусного ангидрида для ацилирования 0,3101 г; 446 г; обратно выделено 0,3106 г; 0,2415 г; % ошибки 0,5—1,2. Таким азом, данные ацилирования указывают, что гидрированный амин яется третичным.

д. Определение дипольного момента $C_{17}H_{15}N$. Дипольный момент, опре-енный по методу Смайса ([14]), равен $\mu = 9{,}7D$ (в бензоле). Ошибка опре-ения составляет 2—3%, так как измерения проводились в сильно раз-ленном растворе, вследствие малой растворимости вещества. Величина ольного момента соединения $C_{17}H_{15}N$ оказалась значительно выше ве-ин дипольных моментов обычных органических соединений.

Институт элементоорганических соединений
Академии наук СССР

Поступило
10 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] A. Skita, W. Brunner, Ber., **49**, 1597 (1916); A. Skita, W. A. Meyer, , **45**, 3589 (1912). [2] Th. Zinke, Lieb. Ann., **330**, 361 (1903); Th. ncke, G. Hauser, W. Möller, Lieb. Ann., **333**, 296 (1904); Th. Zincke, Wörker, Lieb. Ann., **338**, 107 (1905); **341**, 365 (1905); Th. Gincke, F. Kroll-effer, Lieb. Ann., **408**, 285 (1915). [3] G. Wittig, G. Felleschin, Lieb ., **555**, 133 (1944); G. Wittig, M. Heintzeler, M. Wetterling, Lieb, ., **557**, 193, 201 (1947); G. Wittig, Angew. Chem., **63**, 15 (1951); G. Wittig, Polster, Lieb. Ann., **599**, 1—22 (1956). [4] W. Schlenk, J. Holtz, Ber., 603 (1916); W. Schlenk, J. Holtz, Ber., **50**, 274, 276 (1917). [5] E. Hükel, f. Phys., **70**, 204 (1931); Д. Н. Курсанов, З. Н. Парнес, ДАН, **109**, 315 6). [6] F. Ramirez, S. Levy, J. Org. Chem., **21**, 488 (1956). [7] D. Lloyd, . Sneezum, Chem. and Ind., **39**, 1221 (1955). [8] W. E. Doering, C. H. De-y, J. Am. Chem. Soc., **75**, 5955 (1953). [9] F. Kröhnke, Ber., **72**, 527 (1939); **83**, (1950); F. Kröhnke, Angew. Chem., **65**, 609 (1953). [10] C. K. Ingold, . Jessop, J. Chem. Soc., **1929**, 2357; **1930**, 713. E. D. Hughes, K. I. Ku-an, J. Chem. Soc., **1935**, 1609. [11] H. Hilman, J. A. Beel, et al., J. Am. n. Soc., **71**, 1499 (1949). [12] J. Thile, Ber., **34**, 68 (1901). [13] R. Walther, Wladkowski, J. prakt. Chem. (2) **59**, **272** (1899); Г. Мейер, Анализ и опреде-е строения органических веществ, 1935, стр. 484, 523. [14] Ч. Ф. Смайс, Диэлек-еская постоянная и структура молекул, 1937.

* Соединение I аналогичным образом может быть получено взаимодействием хлори-о бензилпиридиния с циклопентадиенилкалием ([12]).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ХИМИ

Академик А. Н. НЕСМЕЯНОВ, Р. Х. ФРЕЙДЛИНА и Е. Ц. ЧУКОВСКАЯ

ТЕРМИЧЕСКАЯ ТЕЛОМЕРИЗАЦИЯ ТРИХЛОРСИЛАНА С ЭТИЛЕНОМ

Соединения кремния, содержащие Si — H-связь, способны присоединяться по двойной и тройной связи непредельных соединений. В предыдущей работе ([1]) нами приведен краткий обзор таких реакций ([2–12]).

Недавно описано присоединение трихлорсилана по двойной связи акрилонитрила, 2-винилпиридина и аллилцианида в присутствии органических оснований и предложен ионный механизм для этих реакций ([13]):

$$Cl_3SiH + B \rightarrow Cl_3Si^- + BH^+$$

$$\overset{\delta+}{C}H_2 = \overset{\delta-}{C}HR + Cl_3Si^- \rightarrow Cl_3SiCH_2\bar{C}HR$$

$$Cl_3SiCH_2\bar{C}HR + BH^+ \rightarrow B + Cl_3SiCH_2CH_2R,$$

где B — органическое основание

$$R = CN,\ CH_2CN,\ N\langle\!\!\rangle$$

Нозакура нашел ([14, 15]), что тетрапиридинникельхлорид катализирует присоединение трихлорсилана к винилтрихлорсилану, 1-октену и стиролу. Причем во всех перечисленных случаях реакция приводит к получению смеси двух изомеров: $SiCl_3CH_2CH_2R$ и $CH_3-\underset{\displaystyle SiCl_2}{\underset{|}{CH}}-R$, где $R = SiCl_3$, C_6H_{13}, C_6H_5.

Предпринятая нами попытка осуществить реакцию теломеризации в автоклавах из нержавеющей стали на примерах метилдихлорсилана, этилдихлорсилана, триэтилсилана с этиленом и пропиленом в присутствии перекиси бензоила или перекиси третичного бутила при температуре 100—140° и давлении 100—300 атм. не привела к положительному результату.

Положительные результаты нами получены ([1]) при термической реакции теломеризации метилдихлорсилана с этиленом при температуре 260—275° и давлении 560 атм.

В этих условиях образуется смесь веществ строения $CH_3SiCl_2(CH_2CH_2)_nH$, из которой выделены в индивидуальном виде соединения, для которых $n = 1$—6.

В настоящей статье мы сообщаем об осуществлении термической реакции теломеризации трихлорсилана с этиленом.

Реакция проведена в полулитровом автоклаве из стали ЭЯ-1Т. В автоклав загружали 60 г трихлорсилана и после продувки азотом вводили этилен. Реакционную смесь нагревали до 285°, максимальное давление 200 атм. Реакцию вели в течение 2 часов. При этом давление падало до 40 атм. Опыт повторен 4 раза, продукты реакции объединены и подвергнуты фракционированной перегонке. Всего загружено 261 г трихлорсилана. Вес продуктов реакции 353 г. Продук

ционирован на колонке в 15 теоретических тарелок. Отогнано 10 г ного трихлорсилана и 269 г индивидуальных алкилтрихлорсиланов ния $Cl_3Si(CH_2CH_2)_nH$, где $n = 1—5$. Остаток (42 г) представляет смесь высших алкилтрихлорсиланов. Свойства и выводы получен- алкилтрихлорсиланов сведены в табл. 1.

Таблица 1

$SiCl_3(CH_2CH_2)_nH$

Выход		n_D^{20}	d_4^{20}	*MR*		т. кип. °C/мм		Источник	Si в %	
в г	в % к сумме всех продуктов			найд.	вычисл.	наши данные	лит.		вычисл.	найд.
69	20,1%	—	—	—	—	98	97—100	[16]	—	—
87	25,3%	1,4352	1,1577	43,19	42,82	146—147	147—151	[17]	14,65	14,72 14,45
54	15,4%	1,4440	1,1094	52,51	52,12	87—89/30	127/38	[18]	12,78	12,83 12,59
45	13,1%	1,4490	1,0744	61,76	61,41	96,5/10	119/28 231—232/731	[18]	11,33	11‘26 11,67
14	4,0%	1,4547	1,0501	71,17	70,71	76/2	183/84	[18]	10,17	10,55 10,58
42	12,2%									

Для $SiCl_3C_{10}H_{21}$. Вычислено в %: C 43,56; H 7,67; Cl 38,62
Найдено в %: C 43,68; 43,71; H 7,79; 7,71; Cl 38,21; 38,03

Изученные нами реакции теломеризации, как и описанные в литера- реакции присоединения, происходили за счет разрыва Si—H-связи, доказывается отсутствием этой связи в полученных соединениях. ение алкилтрихлорсиланов подтверждается определением молекуляр- рефракции, а также получением из них соответствующих триметилал- иланов реакцией Гриньяра. Свойства полученных триметилалкилси- в приведены в табл. 2.

Таблица 2

$(CH_3)_3Si(CH_3CH_2)_nH$

Формула *	Т. кип., °C/мм	n_D^{20}	d_4^{20}	*MR*		C в %		H в %		Si в %	
				вычисл.	найд.	вычисл.	найд.	вычисл.	найд.	вычисл.	найд.
$C_4H_9Si(CH_3)_3$	114	1,4030	0,7203	44,14	44,12	64,66	64,44 64,47	13,85	13,83 13,87	21,57	21,29 21,46
$C_6H_{13}Si(CH_3)_3$	163	1,4160	0,7412	53,35	53,58	68,30	68,48 68,28	14,01	14,02 14,02	17,73	17,56 17,61
$C_8H_{17}Si(CH_3)_3$	75/10	1,4242	0,7646	62,58	62,21	70,89	71,03 71,14	14,07	14,03 14,18	15,05	14,59 14,53

Литературные данные о константах этих соединений см. [18].

ыходы трихлоралкилсиланов разного молекулярного веса показывают горую характерную для реакции теломеризации закономерность ченную нами и для случая теломеризации метилдихлорсилана с

этиленом): максимальный выход получен для соединения, для котор $n = 2$ (25—26%). Выход остальных алкилтрихлорсиланов падает с у личением значения n, составляя 4% от суммы всех продуктов для $n =$

Вывод

Осуществлена реакция термической теломеризации трихлорсилан этиленом при температуре 270—285° и давлении 200 атм. Из получен смеси продуктов выделены в индивидуальном виде алкилтрихлорсила строения $Cl_3Si(CH_2CH_2)_nH$, где $n = 1—5$, и получены их триметильн производные реакций Гриньяра.

Поступило
8 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. Н. Несмеянов, Р. Х. Фрейдлина, Е. Ц. Чуковская, ДА 112, 271 (1957). [1] L. Sommer, E. W. Pietrutza, F. C. Whitmore, J. A Chem. Soc., 69, 188 (1947). [3] C. Burkhard, R. Kriebe, J. Am. Chem. So 69, 2687 (1947). [4] A. J. Barry, L. De Pree et al., J. Aw. Chem. Soc., 2916 (1947). [5] E. Pietrutza, L. Sommer, F. Whitmore, J. Am. Che Soc., 70, 484 (1948). [6] G. Schott, H. Berge, Chem. Techn., 6, 503 (19 [7] G. N. Gadsby, Res., 3, 338 (1950). [8] R. N. Haszeldine, R. I. Markio J. Chem. Soc., 1956, 962. [9] J. Spier, R. Zimmerman, J. Webster, J. A Chem. Soc., 78, 2278 (1956). [10] В. А. Пономаренко, Б. А. Соколо Х. М. Миронов, А. Д. Петров, ДАН, 106, 76 (1956). [11] Н. С. Наметки А. В. Топчиев, Т. И. Чернышева, ДАН, 111, 1260 (1956) [12] Л. А. Щ кавская, А. Д. Петров, Ю. П. Егоров, ЖОХ, 26, 3339 (1956). [13] S. Noz kura, S. Konotsune, Bull. Chem. Soc. Japan, 29, 332, 326 (1956). [14] S. Noz kura, Bull. Chem. Soc. Japan, 29, 785 (1956). [15] S. Nozakura, Bull. Chem Soc. Japan, 29, 660 (1956). [16] R. N. Meals, J. Am. Chem. Soc., 68, 1880 (1946 [17] R. N. Lewis, J. Am. Chem. Soc., 69, 717 (1947). [18] F. C. Whitmor L. H. Sommer, J. Am. Chem. Soc., 68, 475 (1946).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

М. Г. ГОНИКБЕРГ, В. М. ЖУЛИН, В. Т. АЛЕКСАНЯН и Х. Е. СТЕРИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ 2,3-ДИМЕТИЛБУТЕНА-2; 2,3-ДИМЕТИЛБУТЕНА-1 И 3,3-ДИМЕТИЛБУТЕНА-1 ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 4000 атм

(Представлено академиком Б. А. Казанским 1 X 1956)

В предыдущей работе (1) было показано, что высокое давление весьма ительно увеличивает скорость полимеризации 2,3-диметилбутена-2. , при 300° и давлении 200 атм. за 50 час. заполимеризовалось всего 20% о олефина, а при 23000 атм. весь мономер был заполимеризован за са.

В настоящей работе мы ставили своей целью изучение кинетики полиме- ции 2,3-диметилбутена-2 под высоким давлением, а также свойств и ава получаемых полимеров. Были ке исследованы полимеры 2,3-ди- илбутена-1 и 3,3-диметилбутена-1, ученные в аналогичных условиях. Применявшиеся олефины непосре- енно перед опытом перегонялись ектификационной колонке эффек- ностью 30 т. т. и характеризовались ующими константами: 2,3-дime- бутен-2 т. кип. 72,8—73,1° (760),),7084, n_D^{20} 1,4122; 2,3-диметилбу- 1 т. кип. 55,2—55,3° (760), d_4^{20} 0,6775, 1,3900; 3,3-диметилбутен-1 т. кип.)—41,2° (760), d_4^{20} 0,6530, n_D^{20} 1,3760. ізанные константы близки к лите- урным данным (2).

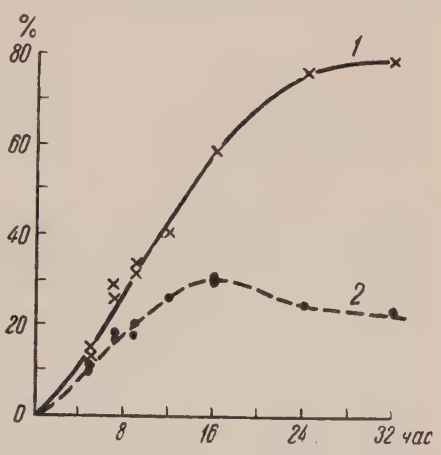


Рис. 1. Полимеризация 2,3-диметилбутена-2 при 290° и 3660—3870 атм.: *1*—суммарный выход полимера; *2* — выход димерной фракции

Опыты проводились в свинцовых улах, емкостью 14—15 мл, поме- ных в реактор из стали 40Х. Дав- ие создавалось маслом и измеря- ь пружинным манометром на 10000 см². Температура во всех опытах составляла 290 ± 2° и измерялась тер- арой, пропущенной внутрь реактора до его середины в длинном стальном ляре. Продолжительность опытов отсчитывалась от момента достижения анной температуры до выключения электрообогрева реактора. После рытия ампул мономерная фракция продукта реакции отгонялась на рек- икационной колонке, а димерная и высшие фракции отгонялись в ва- ме из колбы Кляйзена. Полимерные фракции представляли собой про- чные жидкости.

На рис. 1 показаны результаты опытов по полимеризации 2,3-диметил ена-2 при 3660—3870 атм, и τ от 2 до 32 час. Из рассмотрения рис. 1 но, что выход димерной фракции проходит через максимум при τ около

16 час., что свидетельствует о протекании полимеризации, по край мере частично, ступенчато — через промежуточное образование дим Специальными опытами было показано, что димерная фракция действите но способна к дальнейшей полимеризации. В исследованных условиях ср няя степень полимеризации n невелика (полимеризация 2,3-диметил тена-2 при 290°, τ=6 час.):

P, атм.	Выход полимера, % к выгруж.*	n
1900	9,1	2,3
2700	11,7	2,3
3820	17,7	2,5

В головной части мономерной фракции, отогнанной от продуктов поли ризации 2,3-диметилбутена-2, было установлено присутствие 2,3-димети бутена-1 (исследованием спектров комбинационного рассеяния свет структурных изомеров 2,3-диметилбутена-2 обнаружено не было. О ставе димерных фракций см. ниже.

В тех же условиях температуры и давления 2,3-диметилбутен-1 и 3,3-д метилбутен-1 полимеризуются значительно быстрее 2,3-диметилбутена

Таблица 1

Полимеризация 2,3-диметилбутена-2, 2,3-диметилбутена-1 и 3,3-диметил бутена-1 при 290°

Исходный олефин	τ в час.	P в атм.	Прореагировало исходного олефина в % к выгруж. продукту	Содержание продукта со средней степенью полимеризации $n > 3$ в % к всему полимеру
2,3-диметилбутен-2	5	3700—3780	11,6	—
То же	32	3740—3860	79,4	26,8
2,3-диметилбутен-1	4	3410—3590	75,0	45,5
3,3-диметилбутен-1	3	3500—3640	61,0	34,1

и образуют полимеры с более высоким молекулярным весом (табл. 1). Свой ства некоторых (близких по молекулярным весам) фракций полимеризатов трех изученных гексенов приведены в табл. 2. Из рассмотрения данны табл. 2 следует, что близкие по своим молекулярным весам полимеризаты трех изученных гексенов существенно отличаются по своим свойствам дру от друга, а также от продуктов ионной полимеризации.

В связи с тем, что в мономерной фракции продукта полимеризации 2,3-диметилбутена-2 было обнаружено присутствие 2,3-диметилбутена-1, мы провели опыты по полимеризации смеси этих двух гексенов. Оказалось, что небольшие добавки 2,3-диметилбутена-1 (около 4%) не влияют существенным образом на скорость полимеризации 2,3-диметилбутена-2. При полимеризации под давлением смеси обоих изомеров в соотношении 1 : 1 2,3-диметилбутен-2 вступает в реакцию значительно быстрее, а 2,3-диметилбутен-1—несколько медленнее, чем при раздельной полимеризации этих олефинов в тех же условиях. Этот факт свидетельствует о протекании реакции сополимеризации. Величины коэффициента преломления и удельного веса димерной фракции полимеризата смеси 2,3-диметилбутена-2 и 2,3-диметилбутена-1 также указывают на то, что эта фракция не является простой смесью соответствующих фракций полимеризатов чистых олефинов (см. табл. 2). Отличие свойств димерной фракции полимеризата 2,3-диметилбутена-2 от свойств димерных фракций полимеризата 2,3-диметилбутена-1 и сополимеризата этих двух олефинов подтверждает сделанное ранее [1]

* Разность весов загруженного и выгруженного вещества во всех опытах не превышала 0,2 г (2%).

ючение о том, что полимеризация 2,3-диметилбутена-2 не протекает
я стадию предварительной изомеризации его в 2,3-диметилбутен-1.
ими было проведено исследование состава спектров комбинационного
яния света димерных фракций трех изученных гексенов. Методика
ения спектров и измерений описана ранее (4). Ввиду отсутствия в лите-
е данных о спектрах большинства олефинов $C_{12}H_{24}$, мы при исследова-
димерных фракций воспользовались эмпирическими признаками, най-
ими Губо (5), в первую очередь — линиями в области 1640—1680 $см^{-1}$.
ктре каждого олефина в указанной области имеется по одной ли-
положение которой, по Губо, зависит от характера замещения этиле-
й группы. Наша спектральная установка позволяла наблюдать в сме-
олефинов три линии в этой области: 1640—1645, 1650—1660 и 1665—
$см^{-1}$. Первая из них принадлежит монозамещенным этилена, вторая —
и несимметричным дизамещенным, третья—транс-дизамещенным, три-
разамещенным этилена. Дальнейшее уточнение структуры олефинов
другим линиям оказалось не всегда возможным.
Результаты исследования состава димерных фракций, представляющих
й в каждом случае смесь не менее чем двух олефинов, приведены
бл. 3.

Таблица 2

ства полимерных фракций, полученных из 2,3-диметилбутена-2, 2,3-диметилбутена-1 и 3,3-диметилбутена-1

Полимер	Т. кип. °С (мм)	Мол. вес	n_D^{20}	d_4^{20}	Бромное число	% непредельных
рная фракция 2,3-диметил-гена-2	68—70 (9)	162	1,4496	0,7963	102	103
рная фракция 2,3-диметил-гена-1	51—125 (6)	164	1,4441	0,7906	70,5	72,3
ке	68,8—70,5 (10)	164	1,4417	—	69,5	71,3
имерная фракция 3,3-диме-лбутена-1	69—73 (20)	153	1,4229	0,7443	79,6	76,0
имерная фракция 3,3-диме-лбутена-1	75—140 (20)	177	1,4316	0,7620	—	—
мерная фракция 2,3-диме-лбутена-2	120—147 (5)	242	1,4652	0,8303	62,0	93,0
мерная фракция 2,3-диме-лбутена-1	125—159 (6)	234	1,4590	0,8232	60,4	88,5
имерная фракция 3,3-диме-лбутена-1	200—232 (20)	348	1,4578	0,8231	50,0	109
имерная фракция 2,3-диме-лбутена-2	147—191 (5)	285	1,4729	0,8476	55,5	99,0
имерная фракция 2,3-диме-лбутена-1	остаток выше 149 (5)	345	1,4706	0,8470	49,5	107
ерная фракция полимеризата меси 2,3-диметилбутена-2 и 3-диметилбутена-1 (1 : 1)	58—125 (6)	—	1,4441	0,7997	87,3	—
ерная фракция при ионной олимеризации 2,3-диметилбу-ена-2 (3)	70—110 (100)	—	1,4280—1,4351	—	—	—
ерная фракция при ионной олимеризации 2,3-диметилбу-ена-1 (3)	70—111 (100)	—	1,4257—1,4353	—	—	—

Рассмотрение данных табл. 3 приводит к выводу о том, что в процессе
имеризации трех изученных гексенов происходит структурная изоме-
зация. Действительно, если бы не происходило структурной изомериза-
и, то из 2,3-диметилбутена-2 при полимеризации нельзя было бы ожи-
ь образования цис-диалкилэтиленов; однако, в действительности, в

димерной фракции в преобладающем количестве присутствуют цис-диалкилэтилены. Также нельзя представить, без предположения о структурной изомеризации, образовани моноалкилэтиленов из 2,3-диметилбутена-1 при его д меризации Можно было предположить, что исходны мономер сначала изомеризуется и образующийся стр турный изомер далее поли меризуется сам и вступает реакцию сополимеризации исходным олефином. Однако в мономерной фракции полимеризата 2,3-диметилбутена-1 его структурных изомеров об наружено не было. Этот факт позволяет высказать предположение, что при полимеризации этого олефина структурной изомеризации подвергаются не молекулы или радикалы мономера, а димерные молекулы или радикалы $C_{12}H_{23}$.

Таблица 3

Состав димерных фракций 2,3-диметилбутена-2, 2,3-диметилбутена-1 и 3,3-диметилбутена-1

Структурные группы в димерной фракции	2,3-диметилбутен-2	2,3-диметилбутен-1	3,3-диметилбутен-1
$H_2C = CH - R$	—	+	—
$H_2C = C(R) - R$	—	?	?
$RHC = CHR$ (цис)	+ (преобладает)	?	+
$RHC = CHR$ (транс)	?	?	?
$RHC = C(R) - R$	+	+	?
$R-C(R)=C(R)-R$	+	+	+

Результаты исследования свидетельствуют о том, что ускоряемая давлением реакция термической полимеризации олефинов протекает наиболее медленно у четырехзамещенного этилена, что, повидимому, обусловлено наличием значительных пространственных затруднений.

Институт органической химии
им. Н. Д. Зелинского и
Комиссия по спектроскопии
при Отделении физико-математических наук
Академии наук СССР

Поступило
27 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. Г. Гоникберг, В. П. Бутузов, В. М. Жулин, ДАН, 97, 1023 (1954). [2] Р. Д. Оболенцев, Физические константы углеводородов жидких топлив и масел, 1953. [3] F. C. Whitmore, P. L. Meunier, J. Am. Chem. Soc., 63, 2197 (1941). [4] В. Т. Алексанян, Х. Е. Стерин и др., Изв. АН СССР, сер. физ., 19, № 2, 225 (1955). [5] J. Goubeau, Die Raman-Spektren von Olefinen, Beih. Zs. angew. Chem., № 56 (1948).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

П. П. ПУГАЧЕВИЧ и В. Б. ЛАЗАРЕВ

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ТРОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ Hg — Cd — K ПРИ 22°

(Представлено академиком И. И. Черняевым 31 X 1956)

По-видимому многие явления, связанные с влиянием примесей на са- разнообразные свойства многокомпонентных металлических растворов в жидком, так и твердом состоянии, могут стать понятными при изуче- поверхностного натяжения многокомпонентных расплавов. Однако до ор, насколько нам известно, не производилось систематического иссле- ия поверхностного натяжения (σ) даже тройных металлических систем, говоря о многокомпонентных, а между тем тройные металлические рас- представляют больший интерес для практики, по сравнению с двойны- поскольку промышленные сплавы в подавляющем большинстве являются компонентными системами. В имеющихся немногочисленных иссле- ниях поверхностного на- ния многокомпонентных лических растворов, на- ер железных сплавов, лось, как правило, влия- обавок [1] или газов [2] редположении неизменнос- новного состава сплава. сходя из молекулярной ии поверхностных явле- разработанной В. К. Се- енко [3,2] для многоком- нтных растворов, можно дать, что адсорбционные ния в тройных металли- их растворах по своему ктеру не будут отличать- от подобных явлений в ных растворах других сов. Особенный интерес с практической, так и с о теоретической точки ия будет представлять най, когда по отношению анному растворителю один из растворенных металлов является ерхностно-активным, а другой — поверхностно-инактивным. Это свя- с тем, что по теории В. К. Семенченко всякую многокомпонент- систему в отношении влияния ее компонентов на поверхностное на- ение раствора можно рассматривать как «обобщенную» тройную систему. Здесь следует ожидать, в частности, что при некоторой концентрации ерхностно-активного компонента, названной В. К. Семенченко [5] бу- ной концентрацией, поверхностное натяжение тройного металлического твора не будет зависеть от концентрации поверхностно-инактивного

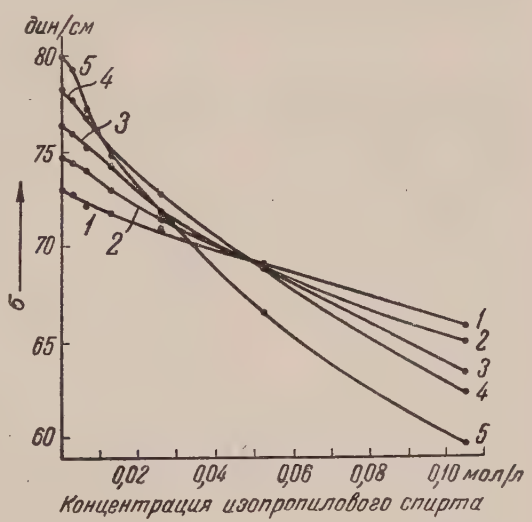


Рис. 1. Поверхностное натяжение системы вода — изопропиловый спирт — хлористый натрий при 18° по данным В. К. Семенченко [8]. Концентрация хлористого натрия в мол/л: *1*—0,0; *2*—1,0; *3*—2,0; *4*—3,0; *5*—4,0

компонента, т. е. в тройных металлических растворах можно ожидать
этом случае наличия тех же закономерностей в изменении поверхностно
натяжения, которые наблюдались Зейтом ([6]), Паличем ([7]), В. К. Сем
ченко ([5,8,9,10]) и др. при изучении дв
ных диэлектрических растворов в п
сутствии электролитов.

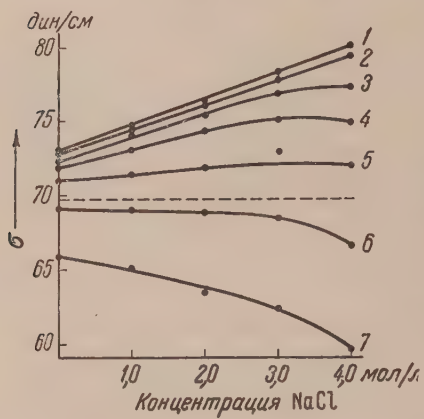


Рис. 2. Поверхностное натяжение системы вода — изопропиловый спирт—хлористый натрий при 18° по данным В. К. Семенченко ([8]). Концентрация изопропилового спирта в мол/л: *1*—0,0000; *2*—0,0033; *3*—0,0066; *4*—0,0131; *5*—0,0263, *6*—0,0525 *7*—0,105. Пунктирная линия соответствует буферной концентрации изопропилового спирта

Например, В. К. Семенченко ([8]) ш
шел, что при 18° изотермы поверхно
ного натяжения системы вода — и
пропиловый спирт — хлористый натр
пересекаются в одной точке (рис.
которой соответствует концентрац
изопропилового спирта, равная 0,0
мол/л. Если в качестве параметра вы
рать концентрацию поверхностно-акти
ного вещества (изопропиловый спирт
то буферной точке в такой системе б
дет соответствовать изотерма, обозначе
ная нами на рис. 2 пунктирной линией
параллельная оси концентраций по
верхностно-инактивного вещества (элс
тролит). Как видно из рис. 2, поверх
ностное натяжение раствора до бу
ферной концентрации изопропилово
спирта повышается, если концентрац
электролита в растворе увеличивается
в буферной точке σ раствора не зави
сит от концентрации электролита, а за буферной точкой прибавл
ние в раствор электролита приводит к уменьшению поверхностного нат

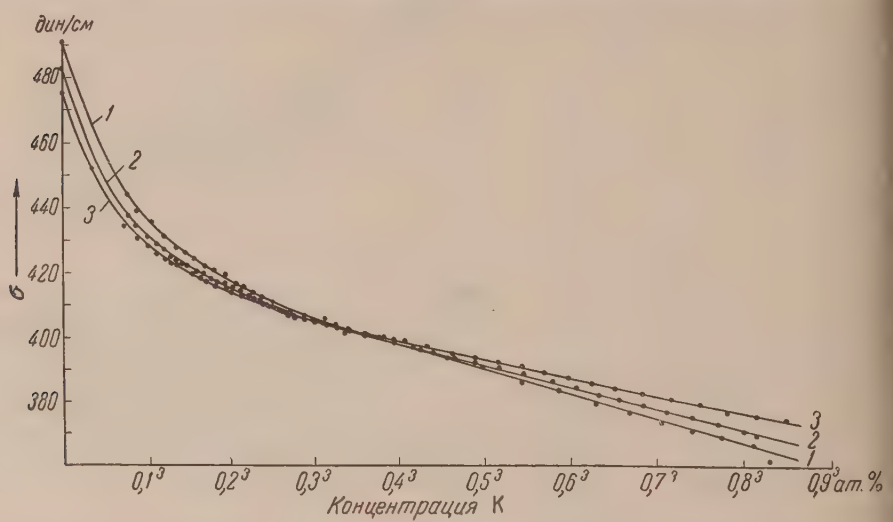


Рис. 3. Поверхностное натяжение системы ртуть — кадмий — калий при 22° по данным П. П. Пугачевича и В. Б. Лазарева. Концентрация кадмия в ат. %: *1*—1,6; *2*—5,6; *3*—7,1

жения раствора. Объяснение этого явления было дано В. К. Семенченк
в работах ([5,8]) и др.

С целью проверки выводов теории В. К. Семенченко об общности за
кономерностей в изменении поверхностного натяжения в растворах, при
надлежащих к различным классам, мы исследовали поверхностное на
тяжение системы Hg—Cd—K. Выбор компонентов изучаемой систем

елялся тем, что калий, как это было показано многими исследовате-
по отношению к ртути является поверхностно-активным, а кадмий,
равилу обобщенных моментов В. К. Семенченко, должен был повышать
хностное натяжение ртути, хотя работа ([11]), казалось, не подтверж-
того, и на этом основании некоторые авторы ([12]) делали вывод о том,
правило обобщенных моментов не выполняется для растворов Hg—Cd.
ли наш выбор компонентов был правильным, то, исходя из сказан-
зыше, при изучении поверхностного натяже-
истемы Hg—Cd—K можно было найти кон-
рационную буферность.

мерение σ растворов Hg—Cd—K проводи-
нами при 22° в комбинированном приборе
[. Пугачевича ([13]); всего было исследовано
мальгам, содержащих от 0 до 0,620 ат. % K
0 до 7,15 ат. % Cd. Как показывает рис. 3,
екоторой концентрации калия, в наших опы-
авной приблизительно 0,040 ат. %, поверх-
ое натяжение тройного раствора не зависит
нцентрации поверхностно-инактивного вещест-
кадмия. Это содержание калия в растворе и
етствует концентрационной буферной точке.
растворов, содержащих калий в количествах,
шающих буферную концентрацию, влияние
ия на σ раствора становится обратным его
чию до буферной точки, а именно, увеличение
нтрации кадмия приводит к уменьшению
хностного натяжения раствора.

го особенно ясно видно из рис. 4, на котором
ажена часть изотерм поверхностного натяже-
исследованных нами амальгам, когда в качест-
раметра берутся концентрации поверхностно-
ного вещества; изотерма *8* на этом рисунке
етствует буферной концентрации калия. Из
ка видно также (изотерма *1*), что кадмий, в
етствии с правилом обобщенных моментов
. Семенченко, повышает поверхностное натя-
е ртути, т. е. является на ртути поверх-
ю-инактивным.

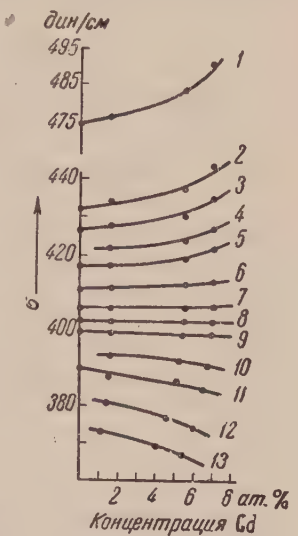


Рис. 4. Поверхностное натяжение системы ртуть — кадмий — калий при 22° по данным П. П. Пугачевича и В. Б. Лазарева. Концентрация K в ат. %: *1*—0,0000; *2*—0,000502; *3*—0,00116; *4* — 0,00250; *5* — 0,00554; *6*—0,0126; *7*—0,0247; *8* — 0,0400; *9* — 0,0615; *10* — 0,125; *11* — 0,177; *12* — 0,350; *13*—0,540

равнение рис. 1 и 2 соответственно с рис. 3 и 4 подтверждает вывод мо-
лярной теории поверхностных явлений, разработанной В. К. Семен-
о, об общности адсорбционных процессов в многокомпонентных рас-
ах, принадлежащих к различным классам.

Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. Курнакова АН СССР

Поступило
27 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Ю. А. Клячко, Л. Л. Кунин, Н. С. Крещановский, Э. С. Гинз-
г, ДАН, 72, 927 (1950). [2] Б. В. Старк, С. И. Филиппов, Изв. АН СССР,
1949, № 3, 413. [3] В. К. Семенченко, Колл. журн., 11, 109 (1949).
К. Семенченко, Изв. сект. физ.-хим. анализа, 21, 14 (1952). [5] W. K. Sse-
tschenko, E. A. Dawidowskaja, Koll. Zs., 73, 24 (1935). [6] W. Seit,
ys. Chem., 117, 257 (1925). [7] S. Palitzsch, Zs. phys. Chem., 138, A, 379, 393,
928); 145, A, 97 (1929); 147, A, 51 (1930). [8] В. К. Семенченко, Журн. прикл.
7, в. 4, 75 (1930). [9] W. K. Ssementschenko, A. F. Gratscheva, Koll.
3, 30 (1935). [10] В. К. Семенченко, Х. Рустамов, ЖФХ, 8, 383 (1936).
К. Семенченко, Б. П. Беринг, Н. Л. Покровский, ЖФХ, 8,
1936). [12] Л. Л. Кунин, Поверхностные явления в металлах, М., 1955.
П. Пугачевич, О. А. Тимофеевичева, Журн. неорг. хим., 1, 1387(1956).

каз 1212

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Ю. С. САЯСОВ и Н. С. ЕНИКОЛОПЯН

О ДИФФУЗИИ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ ПРИ КВАДРАТИЧНОМ ОБРЫВЕ ЦЕПЕЙ В ОБЪЕМЕ

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 23 X 1956)

В настоящей работе дано решение задачи о пространственном стационарном распределении зарождающихся гетерогенно-активных центров в предположении, что они гибнут на поверхности, а также в объеме при столкновениях друг с другом, т. е. для случая квадратичного обрыва цепей. (Такая постановка задачи имеет место, например, для чистой смеси водорода с хлором, в которой отсутствуют примеси кислорода, захватывающие активные центры (1).) Мы будем предполагать, что скорость гетерогенного зарождения много больше скорости гомогенного зарождения, как это имеет место для реакции в смеси водорода с хлором* и что реакция протекает в плоско-параллельном сосуде с расстоянием между стенками $2l$ (одномерная задача). Тогда распределение активных центров по объему описывается дифференциальным уравнением:

$$D\frac{d^2n}{dx^2} - k_p(M)\,n^2 = 0, \tag{1}$$

где n (1/см³) — концентрация активных центров; k_p (см⁶/сек) — коэффициент рекомбинации; (M) (1/см³) — полная концентрация смеси и продуктов; x (см) — координата, отсчитываемая от середины сосуда ($-l \leqslant x \leqslant +l$, $2l$ — длина сосуда); D (см²/сек) — коэффициент диффузии активных центров.

Краевые условия имеют вид:

$$D\frac{dn}{dx} = -\tfrac{1}{4}\varepsilon v n + w_r \quad \text{при } x = l, \tag{2}$$

$$\frac{dn}{dx} = 0 \quad \text{при } x = 0, \tag{3}$$

где ε — вероятность гибели активных центров на стенке сосуда; v (см/сек) — средняя тепловая скорость движения активных центров; w_r (1/см²·сек) — скорость гетерогенного зарождения.

Равенство (3) равносильно предположению, что условия для обеих стенок сосуда ($x = +l$ и $x = -l$) одинаковы, т. е. что распределение $n(x)$ симметрично относительно середины сосуда $x = 0$.

Введем безразмерные переменные:

$$y = \frac{k_p(M)\,l^2}{D}\,n, \quad \xi = \frac{x}{l}.$$

Тогда уравнение (1) запишется в виде

$$\frac{d^2y}{dx^2} - y^2 = 0, \tag{1a}$$

* Как можно показать, скоростью гомогенного зарождения w_0 можно пренебречь по сравнению со скоростью гетерогенного зарождения w_r, если $w_r / l \gg w_0$. Для смеси водорода с хлором при температуре 600° К и давлении ~ 30 мм рт. ст. $l \sim 1$ см $w_r \sim 10^{11}$ см$^{-2}$ сек$^{-1}$, а скорость термической диссоциации молекул Cl_2 при этом равна $\sim 10^9$ см$^{-3}$ сек$^{-1}$, т. е. пренебрежение w_0 оправдано.

раевые условия (2) и (3) в виде

$$\frac{dy}{d\xi} = -\alpha y + \beta \quad \text{при} \quad \xi = 1; \quad \alpha = \frac{\varepsilon v l}{4D}, \quad \beta = \frac{w_r l^2 k_p(M)}{D^*}; \tag{2a}$$

$$\frac{dy}{d\xi} = 0 \quad \text{при} \quad \xi = 0. \tag{3a}$$

Уравнение (1а) сводится к уравнению первого порядка, которое после ользования условия (3а) приобретает вид:

$$\left(\frac{dy}{d\xi}\right)^2 = {}^2/_3 (y^3 - y_0^3), \tag{4}$$

$y_0 = y_0(0)$ соответствует $\xi = 0$.

Решение этого уравнения можно выразить через эллиптическую функ-

Вейерштрасса $s = \wp(u)$ определяемую как $u = \int_s^\infty \frac{ds}{\sqrt{4s^3 - 1}}$ (эквиан-

ионический случай (²)), именно

$$y = e_2^{-1} y_0 \wp(u), \quad u = \omega_2 - e_2 ({}^2/_3)^{1/2} y_0^{1/2} \xi, \tag{5}$$

$e_2 = \wp(\omega_2) = 4^{-1/3}$, $\omega_2 = 1{,}52995$.

Используя краевое условие (2а) и формулу (5), находим уравнение определения постоянной интегрирования y_0:

$$({}^2/_3)^{1/2} (4\wp^3 - 1)^{1/2} y_0^{3/2} = -\alpha e_2^{-1} y_0 \wp + \beta, \tag{6}$$

функция $\wp$ берется при $\xi = 1$, т. е. при аргументе $u = \omega_2 - e_2 ({}^2/_3)^{1/2} y_0^{1/2}$. Распределение активных центров дается функцией (5). Среднее значе- концентрации активных центров по объему, очевидно, определяется ажением

$$\bar{y} = \int_0^1 y \, d\xi = e_2^{-2} ({}^3/_2)^{1/2} y_0^{1/2} \int_{\omega_2}^{\omega_2 - e_2 ({}^2/_3)^{1/2} y_0^{1/2}} \wp(u) \, du =$$

$$= e_2^{-2} ({}^3/_2)^{1/2} y_0^{1/2} [\zeta(\omega_2 - e_2 ({}^2/_3)^{1/2} y_0^{1/2}) - \zeta(\omega_2)], \tag{7}$$

$\zeta(u)$ — дзета-функция Вейерштрасса (функции $\zeta(u)$ и $\wp(u)$ табулиро- в (²)).

В размерных единицах средняя концентрация $\bar{n}$ активных центров шется в виде:

$$\bar{n}\,(1/\text{см}^3) = \frac{D}{k_p(M) l^2} \bar{y}(\alpha, \beta). \tag{8}$$

Исследуем функцию $\bar{y}(\alpha, \beta)$ для некоторых предельных случаев. Сде- предположение, что концентрация активных центров слабо меняется бъему сосуда, т. е. что $y_0^{1/2} \ll 1$. Тогда функцию (5) можно разло- в ряд по степеням аргумента $y_0^{1/2}\xi$. Учитывая, что $d\wp/du = 0$ при ω_2 и ограничиваясь членом порядка $y_0\xi^2$, имеем в этом случае *

$$\wp = e_2 (1 + {}^1/_2 y_0 \xi^2 + \ldots.), \quad \text{т. е.} \quad y = y_0 (1 + {}^1/_2 y_0 \xi^2 + \ldots), \tag{9}$$

$$\bar{y} = y_0 (1 + {}^1/_6 y_0 + \ldots). \tag{10}$$

Разложение (9) можно найти непосредственно из уравнения (1), подставляя о ряд $y = \sum_{m=0}^{\infty} a_m \xi^{2m}$ и определяя коэффициенты a_m из рекуррентных соотно- й.

Величина y_0 находится из уравнений (6) после подстановки в них разложения (9):

$$y_0^2 + \ldots = -\alpha y_0 (1 + {}^1/_2 y_0 + \ldots) + \beta. \qquad (11)$$

Предположим, что $\alpha \ll 1$ и $\beta \ll 1$. Тогда из (11) следует:

$$y_0 = -\frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{\alpha^2}{2} + \beta}. \qquad (12)$$

При $\beta \ll \alpha^2/4$ $y_0 \cong \beta/\alpha$, а при $\beta \gg \alpha^2/4$ $y_0 \cong \sqrt{\beta}$. Таким образом находим окончательные выражения для средней концентрации:

$$\bar{n} = \frac{w_r}{{}^1/_4 \varepsilon v} \qquad \text{при } w_r \ll \frac{\varepsilon^2 v^2}{16\, l k_p(M)}; \qquad (13)$$

$$\bar{n} = \sqrt{\frac{w_r}{k_p(M)\, l}} \quad \text{при } w_r \gg \frac{\varepsilon^2 v^2}{16\, l k_p(M)}. \qquad (14)$$

Выражения (13) и (14) имеют простой физический смысл. При малых скоростях гетерогенного зарождения (условие (13)) на стенках зарождается небольшое число цепей, и поэтому вероятность их взаимодействия в объеме (пропорциональная n^2) мала. Это значит, что средняя концентрация $\bar{n}$ определяется динамическим равновесием процессов зарождения и гибели активных центров на стенке $w_r = {}^1/_4 \varepsilon v \bar{n}$, откуда следует формула (13).

С другой стороны, когда на стенках зарождается большое число цепей в единицу времени и, следовательно, вероятность их взаимодействия и гибели в объеме велика по сравнению с вероятностью гибели на стенках, средняя концентрация активных центров $\bar{n}$ определяется равенством между скоростью зарождения активных центров на единицу объема сосуда w_r/l и скоростью их гибели на единицу объема сосуда $k_p(M)\bar{n}^2$, отсюда следует формула (14).

Исследуем теперь случай, когда концентрация активных центров сильно меняется по объему сосуда. Так как функция $\wp(u)$ велика при $u \to 0$, именно $\wp(u) = \frac{1}{u^2} + \frac{u^4}{28} + \ldots$ при $u \to 0$, то следует предположить, что сильному изменению n отвечает $u = \omega_2 - e_2 ({}^2/_3)^{1/2} y_0^{1/2} \ll 1$. Краевое условие (6) дает в этом случае

$$({}^2/_3)^{1/2} \frac{2}{u^3} y_0^{3/2} = -\alpha e_2^{-1} y_0 \frac{1}{u^2} + \beta. \qquad (15)$$

Сделаем допущение $\beta \gg 1$ и $\alpha \ll \beta^{1/3}$. Тогда из (15) вытекает

$$y_0 \cong \frac{3\omega_2^2}{2l_2^2}, \qquad \frac{1}{u} \cong 2^{-1/2} 3^{1/6} y_0^{-1/2} \beta^{1/3}.$$

Так как при $u \to 0$ $\zeta(u) = \frac{1}{u} + \ldots$, то в этом случае из (7) следует:

$$\bar{y} \cong 18^{1/3} \beta^{1/3}$$

или

$$\bar{n} = \left(\frac{18\, w_r D}{l^3 k_p^2(M^2)}\right)^{1/3} \qquad \text{при } w_r \gg \frac{\varepsilon^3 v^3}{64\, D k_p(M)}. \qquad (16)$$

Величины $\bar{y}(\alpha, \beta)$, не удовлетворяющие сделанным выше при выводе (13), (14) и (15) предположениям, можно найти численно с помощью таблиц $\wp(u)$, $\zeta(u)$ [2]. Таким образом были рассчитаны графики функ-

$\bar{y}(\alpha, \beta)$ при $\alpha = 0; 2; 4; 6; 8; 10$, изображенные на рис. 1, с по-
ью которых легко найти среднее значение концентрации $\bar{n}$ при лю-
предположениях о параметрах, определяющих реакцию.
Пользуясь изложенными теоретическими результатами и эксперимен-
ными данными о скоростях реакции в чистой смеси водорода с хло-
можно сделать некоторые за-
ления о возможных элементарных
ессах, участвовавших в этой
ции.

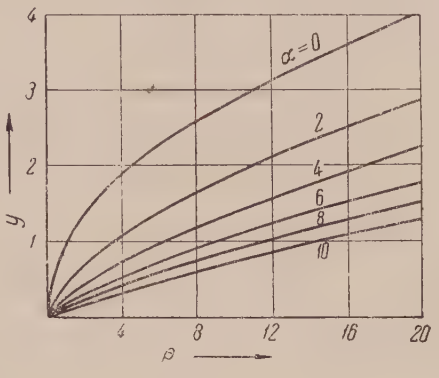


Рис. 1

В условиях А. М. Маркевича (3) температуре 310°, давлении смеси рода с хлором 62 мм рт. ст., см, $v_{Cl} \cong 6 \cdot 10^4$ см/сек, $k_p = 10^{-32}$ $= 5 \cdot 10^{-4}$ получим

$$\frac{\varepsilon^2 v^2}{16\, l k_p (M)} \cong 1{,}5 \cdot 10^{17}.$$

Н. Семенов и В. В. Воеводский по-
ли величину $w_r \sim 10^{11}$ см$^{-2}$ сек$^{-1}$.
им образом, как видно, условие
соблюдается*.

При увеличении давления смеси и диаметра и уменьшении ε можно
ться выполнения условия (14) и вычислить k_p. При $\varepsilon \sim 10^{-5}$ и $l \sim 1$ см)
нимая, что w_r пропорциональна давлению, получим, что условие (14²
реакции $H_2 + Cl_2$ может быть выполнено при давлении $\gtrsim 5 \cdot 10$ь
рт. ст.

В заключение следует отметить, что при помощи изложенного здесь
соба, т. е. введения функции Вейерштрасса, можно исследовать
же диффузию активных центров и в других условиях, при которых
ественную роль играет квадратичный обрыв цепей (одновременное
ождение цепей на стенках и в объеме, гибель активных центров как
примесях, так и при квадратичной рекомбинации и т. д.).

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
18 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Н. Семенов, О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной
обности, Изв. АН СССР, 1954. [2] Е. Янке, Ф. Эмде, Таблицы функций, 1948.
М. Маркевич, ЖФХ, 22, в. 7, 41 (1948).

* Итак, средняя концентрация $\bar{n}$ в этом случае не зависит от константы рекомбина-
k_p и, следовательно, k_p по данным (3) не может быть определена.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Е. Е. СЕГАЛОВА, Е. С. СОЛОВЬЕВА и академик П. А. РЕБИНДЕР

КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В СУСПЕНЗИЯХ ТРЕХКАЛЬЦИЕВОГО АЛЮМИНАТА

Особенности процессов структурообразования в водных суспензиях портланд-цемента в течение первых часов после их изготовления, определяются в основном алюминатными минералами и прежде всего трехкальциевым алюминатом ([1,2]).

Изучение этих процессов представляет особый интерес, так как именно на этой стадии можно влиять на систему цемент — вода и таким образом управлять структурой цементного камня. Для установления общих закономерностей кристаллизационного структурообразования алюминатной составляющей нами детально исследовалось структурообразование в суспензии индивидуального клинкерного минерала—трехкальциевого алюмината $3CaO \cdot Al_2O_3 (C_3A)$.

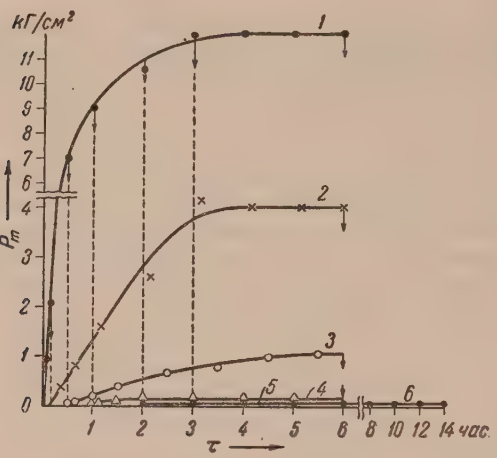


Рис. 1. Нарастание пластической прочности P_m после разрушения кристаллизационной структуры гидроалюмината на разных стадиях ее формирования в суспензии 5% C_3A + 95% тонкомолотого кварцевого песка + 33% H_2O на сухую смесь: *1* — исходная суспензия (перемешивалась при изготовлении 45 сек.); *2, 3, 4, 5*—суспензии вторично перемешивались до полного разрушения структуры, соответственно, через 10; 30 мин. и через 1 и 2—3 часа после изготовления (стрелкой указан момент повторного перемешивания); *6*— системы *1—5*, перемешанные через 6 час.

Исследовались смеси тонкомолотых порошков — от 1 до 5% трехкальциевого алюмината и 99—95% кварцевого песка. Процессы структурообразования в такой суспензии определяются исключительно трехкальциевым алюминатом, а большое количество инертного наполнителя облегчает изучение этих систем ([3]) и приближает условия гидратации C_2A к тем, которые имеются в цементном тесте. Процессы структурообразования характеризовались нами, как и ранее ([1,3]), кинетикой нарастания пластической прочности, измеряемой с помощью конического пластометра. Образцы суспензий после изготовления помещались в специальные сосудики для измерений и хранились в эксикаторе над водой.

На рис. 1 для суспензии с 5% C_3A и 33% воды на сухую смесь представлена кинетика нарастания пластической прочности при повторных перетираниях на различных этапах формирования кристаллизационной структуры гидроалюмината. В отличие от исследованных нами суспензий полуводного гипса ([3]), в суспензиях трехкальциевого алюмината, даже при малом его содержании и большом количестве воды, первая стадия, предшествующая возникновению в системе кристаллизационной структуры,

олько кратковременна, что ее трудно обнаружить (рис. *1*, 1). Пере-ение кристаллизационной структуры в процессе ее развития приводит зкому снижению прочности (рис. 1, *2—6*), а перетирание через часа практически предотвращает дальнейшее развитие кристаллиза-ной структуры.

змерения кинетики нарастания пластической прочности и химического ывания воды в суспензиях C_3A (рис. 2) показали, что оба процесса екают параллельно ([3,4]) и при температуре 18—20° в основном за-иваются через 5—6 час. после товления суспензии. В течение йших 1—2 суток наблюдается ь незначительное нарастание ности, сопровождающееся столь езначительным увеличением чества химически связанной .

альнейшее повышение прочно-образовавшейся кристаллизаци-й структуры приблизительно в за может быть достигнуто высу-анием образца. Последующее жение высушенной кристалл-ционной структуры опять сни-ет ее прочность до первона-ного значения, что объясняется ектом адсорбционного понижe-прочности ([5]), которое в таких уктурах с развитой внутренней ерхностью должно выражаться ь ярко. Если же кристаллизационную структуру гидроалюмината гельно сохранять во влажных условиях, то прочность ее после достиже-максимального значения начинает постепенно падать. Особенно ярко выражено в структурах, содержащих большое количество воды. Так, в пензиях с 5% C_3A и 70—100% воды на сухую смесь кристаллизационная уктура, достигающая пластической прочности 1—2 кГ/см², через уток после изготовления оказывается полностью разрушенной (остаточ-прочность порядка 0,1 кГ/см² соответствует коагуляционной структуре свободных кристалликов гидроалюмината и песка). По аналогии с крис-лизационной структурой двуводного гипса ([6]) эти явления объясняются тепенным растворением термодинамически неравновесных кристалли-ионных контактов, образующихся между кристалликами гидроалюми-а при возникновении и развитии кристаллизационной структуры. В тветствии с меньшей растворимостью гидроалюмината по сравнению зуводным гипсом, в кристаллизационной структуре гидроалюмината рас-рение контактов и перекристаллизация протекают значительно медлен-. Эти процессы ускоряются при повышении температуры, когда наряду бычной перекристаллизацией происходит превращение гексагональной мы гидроалюмината в кубическую.

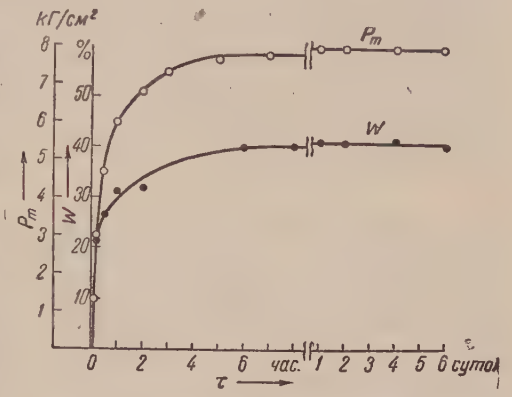


Рис. 2. Кинетика кристаллизационного структурообразования и гидратации C_3A в системе: 5% C_3A + 95% молотого кварцевого песка + 43% H_2O на сухую смесь. *W* — количество химически связанной воды в процентах к навеске C_3A

За последние годы широкое использование в строительной практике учила пластифицирующая добавка — сульфитно-спиртовая барда (ссб). влияние на цементное тесто определяется в основном адсорбционным имодействием с алюминатной составляющей цементного клинкера ([1,2]). вязи с этим важно было исследовать влияния добавок ссб на структуро-азования в суспензиях трехкальциевого алюмината. Эти исследова-показали, что добавка ссб, адсорбируясь на поверхности частиц C_3A, дной стороны замедляет процессы структурообразования и гидратации, акже выкристаллизовывания новообразований, с другой стороны, вы-

зывая адсорбционную пептизацию и диспергирование исходных часть C_3A, ускоряет эти процессы. Кроме того добавка ссб, как любого органического поверхностно-активного вещества, адсорбируясь на поверхнос новообразований, блокирует места возможных контактов и таким образо снижает прочность кристаллизационной структуры. Суммарное влияни добавки на прочность кристаллизационной структуры зависит от того, к кой из указанных факторов окажется преобладающим при той или ино концентрации добавки.

В табл. 1 представлена кинетика нарастания пластической прочност и химического связывания воды в суспензии с 5% C_3A. Добавка ссб вво дилась с водой затворения. Как видно из табл. 1, добавки ссб до 1% зам медляют кинетику нарастания прочности и химического связывания воды, а также снижают конечную прочность кристаллизационной структуры гид роалюмината.

Таблица 1

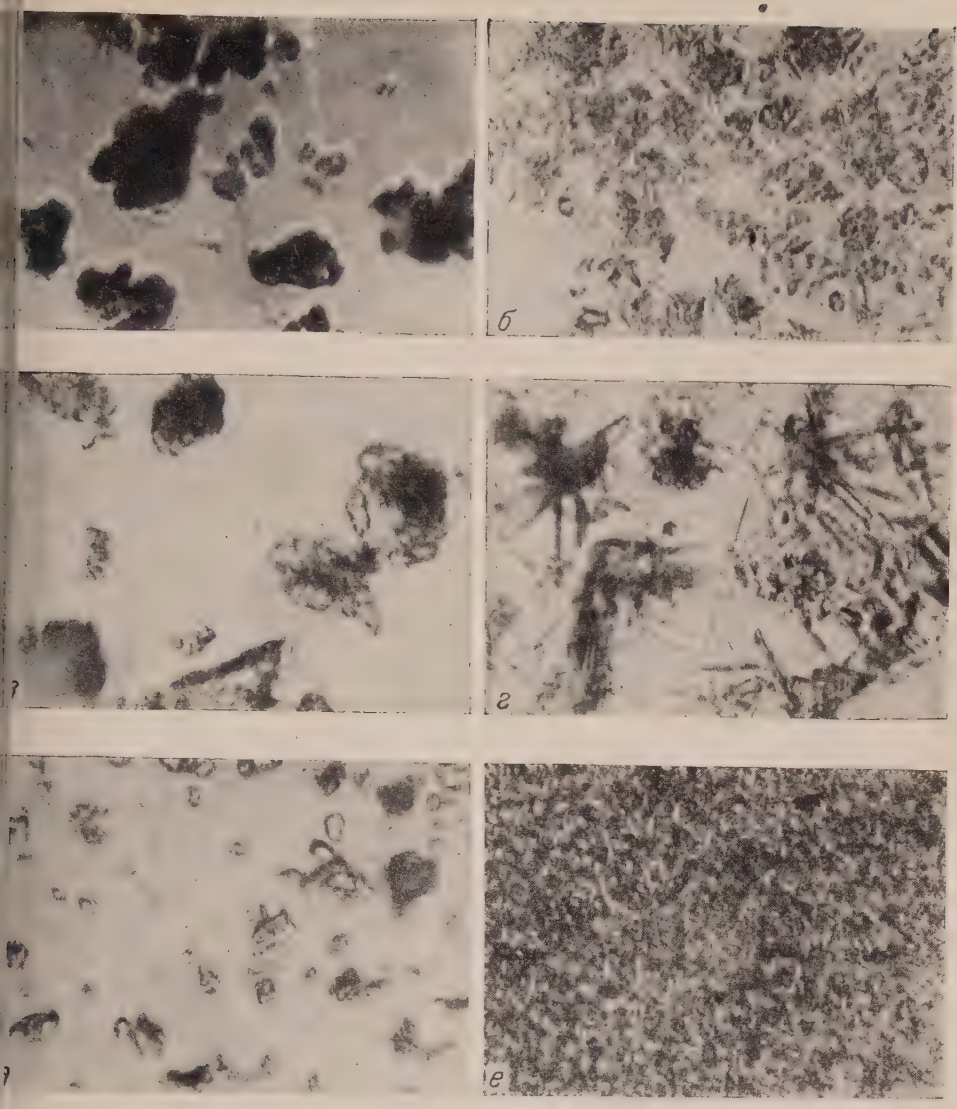
Нарастание пластической прочности P_m и химическое связывание воды W в суспензии, содержащей 5% C_3A и 43% воды на сухую смесь (при изготовлении перетиралась 45 сек.)

Время от начала опыта	Концентрация ссб в % на твердую фазу					
	0	0,5	1	3	5	8
	I. P_m в кГ/см²					
1 мин.	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
5 „	0,37	0,12	0,40	0,002	0,002	0,002
10 „	1,4	0,14	0,70	0,66	0,002	0,002
30 „	4,7	0,16	0,74	7,0	15,0	4,2
1 час	6,0	0,19	0,85	10,0	27,5	41,0
3 „	7,4	0,22	1,0	14,0	40,0	58,0
6 „	7,8	0,27	1,2	16,0	48,0	72,0
1 сутки	8,0	0,40	2,0	20,0	55,0	82,0
3 суток	8,0	0,65	2,4	20,0	56,0	82,0
5 „	8,0	2,1	3,6	20,0	55,0	81,0
10 „	8,0	4,0	4,2	20,0	56,0	80,0

	Концентрация ссб в % на твердую фазу			
	0	0,5	1,0	3,0
	II. W в % на C_3A*			
30 мин.	26,6	18,5	21,4	18,7
1 час	31,0	21,5	23,6	21,4
2 „	31,5	24,5	28,3	30,0
4 „	36,0	26,7	32,4	35,6
8 „	41,0	29,6	33,5	38,4
1 сутки	41,5	32,0	35,7	39,8
2 суток	41,6	36,7	36,5	—
3 „	41,9	36,7	39,9	41,5
5 „	41,3	38,5	39,7	41,8
10 „	41,0	42,2	40,5	—

* По формуле $C_3A \cdot 6$ aq, $W \approx 40\%$.

Наблюдения под микроскопом, проведенные над суспензиями C_3A (рис. 3), показали, что при малых добавках ссб действительно наблюдается замедление гидратации, а это в конечном итоге приводит к возникновению более крупных кристаллов гидроалюмината, чем в отсутствие добавки



ис. 3. Микрофотографии суспензии C_3A(400×): *а, б* — 0,7% суспензия в воде; *в, г* — то-е в 0,01% растворе ссб; *д, е* — 5% суспензия в 10% растворе ссб. Снимки *а, в, д* от-осятся к пробам, взятым из суспензий сразу после изготовления (30 сек. перемешива-ия); снимки *б, г, е* сделаны через 3 суток. Гидратация C_3A проходила в микрокювете предметного и покровного стекол, куда проба суспензии помещалась через 30 мин. после изготовления

(3*г*). Падение прочности кристаллизационной структуры, объясняет-
-видимому, тем, что при замедлении гидратации уменьшается веро-
ть образования термодинамически неравновесных контактов и, та-
бразом, уменьшается та доля прочности, которая обусловлена этими
нтактами. Снижению прочности способствует также адсорбционно-блоки-
ее действие добавки.

С ростом концентрации поверхностно-активной добавки увеличивается
ызываемое ею замедление гидратации, так и диспергирующее влияние
ходные частицы C_3A (рис. 3*д*). Вызванное адсорбционными слоями
ление роста зародышей новой фазы, т. е. выкристаллизовывания
дит к появлению явного индукционного периода структурообразо-
, тем более длительного, чем больше введенная добавка ссб. Специ-
ые опыты показали, что количество химически связанной воды в про-
ение индукционного периода практически равно нулю. Интенсивная
тация, а параллельно с ней и нарастание пластической прочности
аются по окончании индукционного периода и приводят к возникно-
ю в системе кристаллизационной структуры гидроалюмината с очень
кой прочностью. Стабилизация зародышей адсорбционными слоями
ки замедляет выкристаллизовывание и предотвращает возникновение
тных покрытий из гидратных новообразований на поверхности пер-
ых частиц C_3A. Все это и обеспечивает возникновение в течение индук-
ного периода высокого пересыщения, создающего благоприятные
вия для образования большого числа кристаллизационных контактов
дания высокой прочности возникающей кристаллизационной структуры.

больших добавках ссб прочность кристаллизационной структуры
роалюмината может повыситься в 8—10 раз по сравнению с прочностью
добавки. При этом наблюдается необычайно сильное измельчение
сталликов образующегося гидроалюмината (рис. 3*е*): отдельные кристал-
гидроалюмината не удается различить даже в электронном микро-
е при увеличении в 40 000 раз. На это указывают и измерения адсорб-
в разбавленных суспензиях C_3A. Наибольшая адсорбция ссб после
чания гидратации достигает 4,5 г ссб на 1 г C_3A.

При еще большем увеличении концентрации добавки прочность кристал-
ционной структуры гидроалюмината уменьшается, так как преобладаю-
м оказывается эффект стабилизации и блокировки мест возможных
актов за счет адсорбции ссб.

Кафедра коллоидной химии
Московского государственного университета
им. М. В. Ломоносова

Поступило
27 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Е. Е. Сегалова, П. А. Ребиндер, О. И. Лукьянова, Вестн.
, № 2 (1954); П. А. Ребиндер, Е. Е. Сегалова, Природа, № 12 (1952).
В. Шестоперов, Ф. М. Иванов, А. Н. Защепин, Т. Ю. Любимова, Цементный бетон с пластифицирующими добавками, М., 1952. [3] В. Н. Измайлова, Е. Е. Сегалова, П. А. Ребиндер, ДАН, **107**, № 3 (1956).
В. Кунцевич, П. Е. Александров и др., ДАН, **104**, № 4 (1955).
А. Ребиндер, Л. А. Шрейнер, К. Ф. Жигач, Понизители твердости
ении, М., 1944; П. А. Ребиндер, Юбилейн. сборн., посвящен. 30-летию Великой
брьской социалистической революции, Изд. АН СССР, 1947; Г. И. Логгинов,
Л. Элинзон, Сборн. Материалы и конструкции в современной архитектуре, М.,
стр. 95. [6] Е. Е. Сегалова, В. Н. Измайлова, П. А. Ребиндер,
, **110**, № 5 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИ

В. Л. ХЕЙФЕЦ, Е. С. КОЗИЧ и О. М. ДАНИЛОВИЧ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ МЕДИ, СУРЬМЫ, СВИНЦА, КОБАЛЬТА, ЖЕЛЕЗА И ЦИНКА В КАТОДНЫЙ ОСАДОК ОЛОВА

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 16 X 1956)

Возможность соосаждения примеси с основным металлом в результате разряда определяется рядом условий: положением стандартного потенциала по отношению к потенциалу основного металла, величиной токов обмена примеси и основного металла, строением сплава примесь — основной металл вблизи 100% основного металла и др. В зависимости от того, какое из условий оказывается превалирующим в данном случае, закономерности включения примеси в катодный осадок существенно изменяются.

Закономерности нескольких основных случаев на примере включения примесей в катодный осадок никеля и кобальта были рассмотрены нами ранее ([1,2]).

Олово, в отличие от никеля и кобальта, обладает большим током обмена и мало поляризуется. Так, например, в изучавшемся нами электролите, содержавшем $SnSO_4$ 90 г/л, H_2SO_4 20 г/л, фенолсульфоновой кислоты 50 г/л, клея столярного 4 г/л, катодный потенциал олова изменяется при переходе от плотности тока 50 а/м^2 к плотности тока 200 а/м^2 всего на 5—7 мв. Это давало основание полагать, что в рассматриваемом случае должны проявиться некоторые отличия от закономерностей включения примесей в никелевый и кобальтовый осадок.

Положение в ряду напряжений и большой ток обмена меди не оставляли сомнений в том, что включение меди в катодный осадок олова должно протекать на предельном токе. Содержание меди в катодном осадке определялось дитизоновым методом. Как и следовало ожидать, зависимость содержания меди в осадке от содержания ее в растворе выражается прямой, выходящей из начала координат. В отличие от случаев, когда выделение основного металла сильно поляризовано, прямая, определяющая содержание меди в катодном осадке олова, лежит не выше биссектрисы угла координат, а совпадает с ней, что объясняется незначительной поляризацией разряда олова. В то же время «константа» скорости включения меди в катодный осадок олова практически совпадает с константой для других металлов, включающихся в катодный осадок, никеля и кобальта на предельном токе ([1]).

Медь является единственной из исследованных нами примесей, выделение которой ограничивается диффузией. Выделение всех остальных примесей ограничивается, как показало исследование, скоростью стадии разряда. Однако эти примеси приходится разделить на две группы. К первой нужно отнести сурьму и свинец. Стандартный потенциал сурьмы положительнее потенциала олова, однако заметная поляризуемость процесса разряда сурьмы приводит к тому, что выделение ее ограничивается стадией разряда, при этом оказывается необходимым учитывать, хотя и незначительную, величину поляризации разряда олова. Свинец как по величине стандартного потенциала, так и по поляризуемости очень близок к олову, и поэтому для свинца также нельзя пренебрегать величиной поляризации

да основного металла. Таким образом, эти две примеси должны
няться закономерности, присущей случаю, когда скорость выде-
основного металла и примеси ограничивается стадией разряда. Содер-
е сурьмы в металле определялось с помощью радиоактивных изото-
винец определялся спектрографически и дитизоновым методом.
рис. 1 приведена зависимость содержания сурьмы в катодном осад-
содержания ее в растворе. Из рисун-
дно, что эта зависимость выражается
й параболического вида, как это и
ет из теории. На рис. 2 приведена
имость содержания свинца (кривые
2) и сурьмы (кривая 3) в катодном
е от плотности тока. Из рисунка вид-
го содержание свинца в осадке в на-
до плотности тока $\simeq 200$ а/м² резко
стает, а затем изменяется мало, начи-
сказываться сопротивление диффузии.
сурьмы наблюдается почти полная
висимость содержания ее в осадке от
ности тока. Как следует из уравне-
(10) статьи (1), для рассматриваемого
ая справедливо уравнение

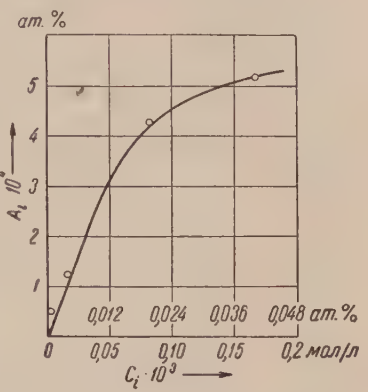
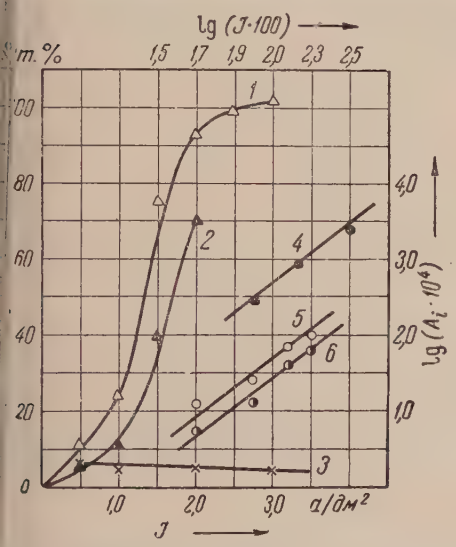


Рис. 1. Зависимость содержания примеси сурьмы в катодном осадке олова от содержания ее в растворе

$$\lg A_i = N + \left(\frac{\alpha_1 Z_1}{\alpha_m Z_m} - 1\right) \lg J, \qquad (1)$$

A_i — содержание примеси в катодном осадке, N — сложная постоян-
α_1 — дробный коэффициент из кинетического уравнения разряда при-
меси; α_m — то же для основного металла, Z_1 — валентность приме-
си; Z_m — валентность основного металла; J — плотность тока, при которой идет осаждение металла.

Из уравнения видно, что если $\alpha_1 Z_1 > \alpha_m Z_m$, то содержание примеси в катодном осадке будет возрастать. Примером такого случая может служить включение марганца в никель и свинца в олово. Если $\alpha_1 Z_1 = \alpha_m Z_m$, содержание примеси не должно зависеть от плотности тока, как это наблюдается в случае включения сурьмы в олово. Кривые *1* (восходящий участок) и *2* рис. 2 в логарифмических координатах превращаются в прямые *5* и *6* с тангенсом угла наклона ($\simeq 1{,}7$), равным тангенсу угла наклона в случае включения марганца в никель (прямая *4*).



2. Зависимость содержания свинца и
ьмы в катодном осадке олова от плотно-
тока: *1* — свинец при содержании в эле-
олите 16 мг/л; *2* — свинец при содержа-
в электролите 11 мг/л; *3* — сурьма при
ржании в электролите 1,6 мг/л; *4* — мар-
ец в катодном осадке никеля (билогариф-
еские координаты), содержание марганца
ектролите 6,5 мг/л; *5* — кривая *1* в лога-
мических координатах; *6* — кривая *2* в
логарифмических координатах

Железо и кобальт — металлы значительно более электроотрицательные, чем олово, и, кроме того, обладающие малым током обмена. Цинк, хотя и обладает большим током обмена, стоит в ряду напряжений отрицательнее олова на 0,62 в и не образует с оловом ни твердого раствора, ни химических соединений. Естественно, что, с одной стороны, скорость разряда этих ме-

таллов должна определяться скоростью стадии разряда, а с другой, поляриза-
ция выделения основного металла, благодаря ее малой величине, не може
сказаться на их включении в осадок сколь-нибудь заметно. Полагая, что
основной металл выделяется без поляризации, а скорость выделения при-
месей ограничивается стадией раз-
ряда, нетрудно получить уравне-
ние (2)

$$A_i = \frac{100MC_i}{JC_m^{\alpha_1 Z_1 / Z_m}},$$

где C_i — концентрация примеси в
электролите; C_m — концентрация ос-
новного металла в электролите: M —
сложная постоянная, включающая в
себя значение стандартного тока об-
мена примеси, значения стандартных
потенциалов и др.; остальные обозна-
чения прежние. На примере случая
включения кобальта в осадок олова
нами была проверена зависимость A_i
от плотности тока J для этой груп-
пы примесей. Результаты опытов при-
ведены на рис. 3. Из рисунка видно, что уравнение (2) полностью оправ-
дывается и для этой зависимости.

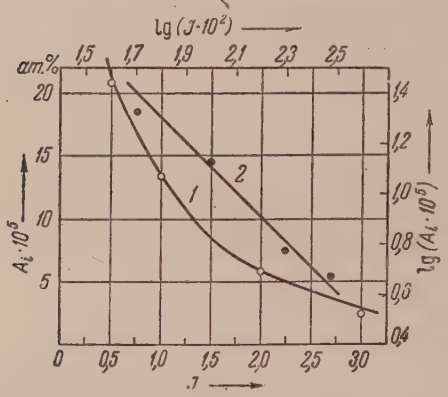


Рис. 3. *1* — зависимость содержания кобальта от плотности тока (содержание кобальта в электролите 50 мг/л), *2* — то же в логарифмических координатах

Повышенное содержание олова в электролите приводило, как это и вы-
текает из теории, к заметному снижению в катодном осадке содержания при-
месей, скорость выделения которых определяется стадией разряда. Из урав-
нения (2) следует, что между C_i и A_i в этом случае, так же как при осаж-
дении примесей на предельном токе, должна быть линейная зависимость. В то же время различные значения M для разных примесей должны привести, в отличие от примесей, оседающих на предельном токе, к различному наклону кривых.

На рис. 4 приведены данные для железа, кобальта и цинка, иллюстрирующие эти положения. Определения содержаний Fe, Co и Zn в катодном осадке олова производились методом радиоактивных изотопов.

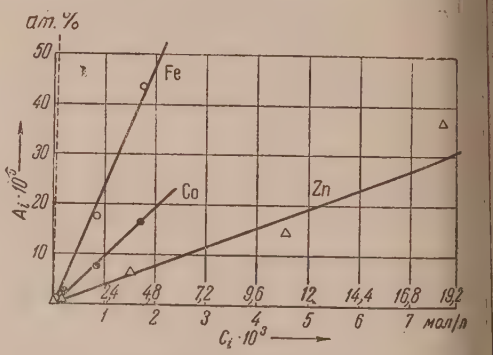


Рис. 4. Зависимость содержания в катодном осадке примесей железа, кобальта и цинка от содержания их в электролите. Пунктирная прямая — биссектриса угла координат

Представляет интерес сопоставить скорости включения в осадок различных примесей. В табл. 1 приведено такое сопоставление. Скорости осаждения охарактеризованы отношением содержания примеси в осадке к содержанию в растворе, т. е. так называемым коэффициентом разделения (3). В случаях Mn в Ni и Sb и Pb в Sn брался начальный практически прямолинейный участок кривой.

Из таблицы видно, что в том случае, когда скорость выделения основного металла определяется разрядом, а скорость выделения примеси — диффузией, индивидуальные свойства примеси и основного металла перестают играть роль, и состав осадка значительно богаче примесью, чем раствор. В случае малой поляризации выделения основного металла и выделения примеси на предельном токе состав осадка оказывается таким же, как со-

Таблица 1

...зной ...алл	Примеси	Стадия, определяющ. выделение примеси	Стадия, определяющ. выделение основн. металла	Содерж. в осадке / Содерж. в р-ре
...i	Cu, Zn, Pb, Cd, Co	Диффузия	Разряд	2,5
...o	Cu, Zn, Pb	Диффузия	Разряд	3,0
...n	Cu	Диффузия	Поляризацией можно пренебречь	160
...i	Mn	Разряд	Разряд	0,07
...n	Pb	Разряд	Поляризацию необходимо учитывать	0,5
...n	Sb	Разряд	То же	0,033
...n	Fe	Разряд	Поляризацией можно пренебречь	0,0012
...n	Co	Разряд	То же	0,0005
...n	Zn	Разряд	» »	0,0002

...раствора. И, наконец, в том случае, когда выделение примеси определяется стадией разряда, состава осадка оказывается значительно чище, ...остав раствора, и скорость включения примеси оказывается зависящей от индивидуальных свойств как примеси, так и основного металла.

Научно-исследовательский и проектный институт никелевой кобальтовой и оловянной промышленности
г. Ленинград

Поступило
10 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

. В. Л. Хейфец, А. Л. Ротинян, ДАН, 82, № 3, 423 (1952). [2] А. Л. Ротинян, В. Л. Хейфец, Цветные металлы, № 2, 24 (1954). [3] Г. А. Цыганов, . Чернилovская, Докл. АН УзбССР, № 9, 32 (1952); № 6, 37 (1954).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОХИМИЯ

П. Л. БЕЗРУКОВ и Э. А. ОСТРОУМОВ

О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ФОСФОРА В ОСАДКАХ ОХОТСКОГО МОРЯ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 19 IX 1956)

Для выяснения некоторых вопросов генезиса фосфоритов необходимо знать закономерности распределения фосфора в осадках современных морских водоемов. За последние годы в этом направлении достигнуты известные успехи: в работах Н. М. Страхова ([1-3]), Т. И. Горшковой ([4]), М. Л. Будянской ([5]), Корренса ([6]) и др. содержатся довольно подробные сведения о распределении фосфора в осадках Черного, Каспийского, Баренцова морей и экваториальной части Атлантического океана. Осадки Тихого океана и особенно его окраинных морей в этом отношении почти не исследованы. На дне Тихого океана, преимущественно по его периферии, неоднократно находились фосфоритовые конкреции; у берегов Калифорнии они местами образуют значительные скопления ([7]), однако проведены лишь немногочисленные определения содержания фосфатов в отдельных конкрециях и в различных типах океанических отложений, систематического исследования распределения фосфора по площади дна океана не производилось. На важность постановки подобного рода работы уже давно указывал А. В. Казаков ([8]).

В течение последних лет Институтом океанологии АН СССР были собраны на экспедиционном судне «Витязь» обширные материалы по донным осадкам дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана. Эти материалы были исследованы на содержание в них фосфора. В настоящей статье излагаются результаты изучения распределения фосфора в осадках Охотского моря. Тесная связь этого моря с Тихим океаном и, в частности, проникновение в него относительно богатых фосфором (80—90 мг/м^3) глубинных океанических вод, высокая продуктивность его планктонного населения, многообразие геологического строения и петрографического состава пород окружающей море суши и, наконец, нахождение на одном из ее участков (Сахалин) среди молодых — верхнетретичных отложений пластовых и желваковых фосфоритов ([9]),— позволяют считать постановку данной работы актуальной.

При исследовании осадков Охотского моря фосфор был определен в пробах поверхностного их слоя (2—5 см), взятых дночерпателями и грунтовыми трубками на 150 станциях, расположенных более или менее равномерно по площади моря. Для определения фосфора пробы разлагались плавиковой и азотной кислотами; само определение проводилось объемным путем после выделения фосфора в виде фосфорно-молибденово-аммониевой соли. На основании результатов анализов была составлена карта распределения фосфора в осадках Охотского моря (рис. 1).

Карта показывает, что в Охотском море выделяются две области относительно повышенного содержания фосфора в осадках. Одна из них, более резко выраженная, приурочена к материковой отмели северной части моря. Здесь на западе, между полуостровом Лисянского и широтой Аяна, в глинистых и алевритово-глинистых илах, покрывающих среднюю части отмели, наблюдается наиболее высокая концентрация фосфора — от 0,12 до 0,15%.

правлению как к берегу, так и к внешнему краю отмели гранулометрический состав осадков становится более грубым — глинистые илы сменяются сначала алевритами, а затем песками; одновременно содержание ра падает до 0,07—0,04%. Восточнее полуострова Лисянского, северного мелководья, кание фосфора в глинистых илах также постепенно шается до 0,10—0,05%.

угая область повышенного жания фосфора в осадках чена к отмели Камчатки ерных Курильских остров. В противоположность северному мелководью, здесь высокая концентрация фосфора от 0,09 до 0,135%, приуроченная к прибрежным пескам. С удалением от Камчатки на запад содержание фосфора в осадках падает; в алевритовых илах, покрытых на материковом склоне, оно колеблется от 0,06 до 0,08%, а в глинистых илах, покрывающих дно центральной части моря, составляет всего 0,04—0,05%.

В районе средних и южных Курильских островов пески содержат 0,05—0,08% Р; к северу от островов, в южной котловине Кашеварова, они сменяются сначала алевритовыми, а затем глинистыми илами, содержащими в среднем 0,04—0,06% Р.

Рис. 1. Распределение фосфора в поверхностном слое осадков Охотского моря в %: *а* — < 0,04%; *б* — 0,04—0,06%; *в* — 0,06—0,09%; *г* — 0,09—0,12%; *д* — > 0,12%

К востоку от Сахалина опять наблюдается увеличение содержания фосфора с переходом от крупнозернистых осадков к тонкозернистым; в прибрежных песках оно равно всего 0,02—0,04%, а в глинистых илах, покрывающих дно котловины Дерюгина, поднимается до 0,06—0,07%.

Таким образом, в различных районах моря существует разное соотношение между гранулометрическим составом осадков и содержанием в них фосфора. В целом же в западной половине моря, как и в других водоемах концентрация фосфора возрастает от песков к глинистым осадкам, что обусловлено преимущественным обогащением им тонкой пелитовой фракции; в восточной половине чаще наблюдается обратная зависимость.

Для того чтобы выяснить причину такого расхождения, следует, прежде всего, рассмотреть как изменится общая картина распределения фосфора в осадках при пересчете его содержания на бескремнистое и бескарбонатное вещество. Дело в том, что осадки Охотского моря, особенно глинистые ил, богаты раковинами и обломками раковин диатомовых водорослей, сложенными аморфным кремнеземом. Диатомовые при жизни являются концентраторами фосфора (по данным А. П. Виноградова [10] они содержат в среднем 0,5—1,0% Р), но их отмершие остатки, по крайней мере на больших глубинах моря, попадают на дно уже в стадии глубокого распада и разбеднены фосфором, поэтому они должны уменьшать («разбавлять») процентное содержание фосфора в осадках. Это подтверждается тем, что зона более низкой концентрации фосфора в глинистых илах центральной части Охотского моря примерно совпадает с зоной наиболее высокого (свыше 5%) содержания в них аутигенного кремнезема, тяготеющей также к во-

сточной половине моря ([11]). Карбонат кальция содержится в осадках Охотского моря в незначительном количестве — от 0,5 до 7%, но он также является «разбавителем» фосфора в осадках.

При пересчете на бескремнистое и бескарбонатное вещество содержание фосфора в осадках центральной части моря значительно увеличивается, в среднем до 0,08—0,11%, т. е. его обычная (нормальная) связь с более тонкозернистыми осадками выступает гораздо отчетливее. Район Курильской гряды и значительная часть побережья Камчатки при этом уже не выделяются повышенной концентрацией фосфора в прибрежных осадках, и только у берегов Южной Камчатки и острова Парамушир сохраняется участок с несколько более высоким содержанием фосфора не в глинистых осадках, а в крупнозернистых и гравийных песках. Что же касается западной части северного мелководья, то здесь зона наиболее повышенной концентрации фосфора, приуроченная к глинистым илам, содержащим также свыше 40% аутигенной SiO_2 после указанного пересчета вырисовывается еще более ярко; содержание фосфора при этом увеличивается до 0,3%.

Судя по тому, что в данном районе, в противоположность центральной части моря, глинисто-диатомовые илы распространены на небольших глубинах — от 100 до 200 м, можно думать, что здесь степень минерализации остатков диатомового планктона, поступающих на дно, значительно ниже, т. е. они не обедняют, а дополнительно обогащают глинистые осадки фосфором. Это подтверждается тем, что с уменьшением содержания аутигенного кремнезема в глинисто-диатомовых илах вдоль отмели на восток одновременно снижается и концентрация в них фосфора. В пользу этого говорят также результаты проводившихся на «Витязе» гидрохимических исследований, которые показали, что придонные воды на северном мелководье, в области распространения глинисто-диатомовых илов, отличаются высоким содержанием как кремния (1000 мг/л), так и фосфора (80 мг/л).

Таким образом, северо-западный количественный максимум фосфора в осадках Охотского моря, по-видимому, в некоторой мере связан с условиями захоронения остатков диатомового планктона. Развитию флоры диатомовых в этой части моря, вероятно, благоприятствует подъем к краю материковой отмели глубинных тихоокеанских вод, заполняющих впадину Охотского моря, а накоплению на дне вместе с тонким глинистым материалом остатков диатомовых способствуют условия динамики вод.

Хотя наибольшая концентрация фосфора в поверхностном слое осадков этого района (0,15% P) лишь на немного превышает его средний кларк в глинах (равный примерно 0,10% P), приведенные данные заслуживают внимания и, в частности, должны быть учтены в дальнейшем при выяснении условий образования фосфоритов, недавно обнаруженных в близлежащем районе Северного Сахалина среди отложений неогена.

Иначе обстоит дело с другим, менее отчетливым максимумом фосфора — в прибрежных песках Южной Камчатки и острова Парамушир. Здесь несомненна связь повышенного содержания фосфора с крупнообломочной частью осадков. Интересно, что эти пески одновременно обогащены железом, 5—6% ([12]).

Минералогическое изучение песков данного района, проведенное В. П. Петелиным ([13]), показало наличие в них лишь рассеянных зерен апатита. Наибольшее количество апатита в песчано-алевритовых фракциях осадков Охотского моря, по данным того же автора, содержится к востоку от Сахалина. Однако по общей концентрации фосфора осадки присахалинского района, как мы видели, не выделяются, очевидно в связи с более низким содержанием обогащенной апатитом фракции. Кроме того, вероятно, что в прибрежных песках Южной Камчатки и острова Парамушир апатит присутствует не только в виде отдельных зерен, но и в обильных мелких обломках пород, среди которых особенно много обломков основной массы эффузивов. Поэтому можно предположить, что основным источником фосфора в этих песках являются развитые на смежных участках суши эффузивные породы.

е с тем отсутствие признаков повышенной фосфатизации песков на стальном протяжении района Курильских островов показывает, что ладающие на этих островах молодые вулканические породы и рыхлые кты извержений относительно бедны фосфором.

частки локального обогащения фосфором прибрежных песков могут обнаружены при более детальных исследованиях и в других пунктах тского, а также северного побережий моря. Широкое распространение водосборном бассейне разнообразных изверженных пород и слабое тие, в силу суровых климатических условий, процессов их химиче- выветривания должны благоприятствовать поступлению в море об- ов этих пород и незатронутых разложением минералов. Менее вероятна жность нахождения таких участков у побережья Сахалина, сложен- в основном осадочными породами, тем более, что здесь отмечены наи- низкие величины содержания фосфора в песках.

подводя итоги изложенному выше, можно прийти к выводу, что распре- ие фосфора в осадках Охотского моря в общем подчинено тем же зако- ностям, которые были выявлены Н. М. Страховым для ряда других мов.

единения фосфора поступают в Охотское море в твердой фазе с продук- денудации и абразии суши и отчасти, вероятно, с продуктами вулка- ской деятельности, а в растворенном виде также с глубинными океаниче- водами. В поверхностных водах, особенно там, где они смешиваются бинными, растворенный фосфор активно усваивается диатомовыми рослями. После отмирания этих организмов фосфор частично воз- дается в воду, частично же, на мелководьях, при благоприятных к тому динамических условиях (отложение тонких илов) попадает вместе с их ками в донные отложения. Размещение этих остатков, так же как и генного материала, регулируется движениями водных масс. Наиболее щена фосфором пелитовая фракция осадков; частные отклонения от правила связаны с особенностями петрографического состава пород льных участков побережий.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
12 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Н. М. Страхов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2 (1947). [2] Н. М. Страхов, АН СССР, сер. геол., № 4 (1950). [3] Н. М. Страхов и др., Образование осадков временных водоемах, Изд. АН СССР, 1954. [4] Т. И. Горшкова, Тр. ГОИН, **1**, 3 (1931). [5] М. Л. Будянская, Тр. ГОИН, **5**, в. 17 (1948). [6] C. W. Corss, Wiss. Ergebn. d. Deutsch. Atl. Exp. Meteor 1925—1927, **3**, 1937. [7] R. S. Dietz, Emery, F. P. Shepard, Bull. Geol. Soc. Am., **53**, 815 (1942). [8] А. В. Казаков, Тр. Инст. удобр. и инсектофунгисидов, 145 (1939). [9] Б. М. Гиммельфарб, Цитенко, Тр. Инст. горно-хим. сырья, 2 (1955). [10] А. П. Виноградов, Биогеохим. лаб., **6** (1944). [11] П. Л. Безруков, ДАН, **103**, № 3 (1955). А. Остроумов, ДАН, **102**, № 1 (1955). [13] В. П. Петелин, Тр. Инст. ол., **13**, 30 (1955).

аказ 1212

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

Г. А. КРИТСКИЙ

ВЗАИМОСВЯЗЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ НЕОРГАНИЧЕСКОГО ФОСФАТА И ДЕЗОКСИРИБОНУКЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ

(Представлено академиком А. И. Опариным 2 X 1956)

Исследование взаимосвязи обмена дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и неорганического фосфата представляет значительный интерес как с общебиохимической точки зрения, так и с точки зрения радиобиологии, поскольку одним из наиболее характерных изменений обмена веществ под воздействием проникающей радиации является нарушение синтеза ДНК и окислительного фосфорилирования ([2,3]).

В настоящем исследовании с помощью применявшейся ранее хроматографической и радиоавтографической методик ([7,8]) нами были получены данные, указывающие на наличие в организме некоторых новых взаимосвязей в обмене ДНК и неорганического фосфата. Экспериментально исследовалось взаимное влияние биохимических превращений фосфата Р-32 и ДНК в гомогенатах тканей.

Согласно литературным данным, биосинтез ДНК весьма интенсивно осуществляется в костном мозгу. Этот объект представляет также особый интерес и с точки зрения радиобиологии, как один из наиболее повреждаемых под воздействием проникающей радиацией ([4, 5]). В связи с этим мы выбрали для исследования костный мозг голубя и кролика; кроме того, использовалась печень голубя.

Таблица 1

Условия опытов по выяснению влияния ДНК на биохимические превращения фосфата с P^{32} в гомогенате печени голубя

Компоненты и инкубация	Пробы без ДНК	Пробы с ДНК
ДНК (мг)	0	20
H_2O (мл)	0,5	0,5
$NaHCO_3$ (мг)	10	10
$Na_2HP^{32}O_4$ (мг)	0,1=50 μCu	0,1=50 μCu
Гомогенат печени голубя (1 : 1) (мл)	1,5	1,5
Тимол (мг)	0,5	0,5
Время инкубации при 38° (час.)	1	1

Анализ реакционных смесей проводился следующим образом. После инкубации в каждую пробу добавлялся насыщенный водой *н*-бутанол (1 мл), и пробы многократно встряхивались при выдерживании в термостате в течение 2 часов при 40°; свернувшиеся белки удалялись фильтрованием, фильтраты наносились на хроматографическую бумагу (ленинградская быстрая), и производилось хроматографирование с помощью фенола, насыщенного водой, или с помощью смеси 9 частей *н*-бутанола, насыщенного вод

1 частью 85%-й муравьиной кислоты. Длина хроматограмм — 45 см. После роматографии хроматограммы высушивались и бутаноловые хроматограммы просматривались в ультрахемископе ([6]). При этом отмечалось наличие отемнения в трех зонах: нуклеотиды, нуклеозиды и свободные нуклеиновые основания. В опытах с радиоактивным фосфатом хроматограммы сследовались с помощью радиоавтографии (более подробное описание методики см. ([7], [8])).

Условия опытов приводятся в табл. 1 и 2.

Анализ продуктов инкубации производился с помощью роматографии в феноле, насыщенном водой, и последующим анализом хроматограмм с помощью радиоавтографии кспозиция в течение 2 дней).

Оказалось, что добавление ДНК ведет к резкому увеличению связывания фосфата в определенную фракцию ис. 1).

Полученные данные показывают наличие реакции связывания неорганического фосфата при участии ДНК. Трудно, онечно, исключить участие в этом процессе продуктов изиматического распада ДНК, поскольку при добавлении НК в гомогенат в той или иной мере имеет место ее распад.

В специальном контрольном опыте были сравнены биохимические превращения ДНК в двух фосфатных буферах, зличающихся только тем, что в одной пробе был обычный фосфатный буфер, а в другой — фосфатный буфер с P^{32} концентрации, соответствующей предыдущему опыту. пыт показал отсутствие заметных различий, судя по анализу этих двух проб с помощью хроматографии в бутано- + муравьиная кислота с последующим просмотром хроатограмм в ультрахемископе. Таким образом, заметного лияния самой радиоактивности на расщепление ДНК в словиях опыта не наблюдалось.

В следующем ряду опытов было исследовано влияние органического фосфата на биохимические превращения НК (условия опытов см. в табл. 2).

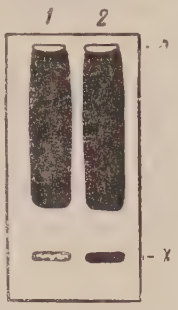


Рис. 1. Влияние ДНК на биохимические превращения P^{32} в гомогенате печени голубя: *о* — исходные линии при хроматографии, *x* — положение вещества, включение в которое неорганического фосфата резко усиливается при добавлении ДНК; *1* — без ДНК, *2* — с ДНК

С целью обеспечения постоянства pH при инкубации и более четкого ределения влияния буфера в вышеприведенных опытах использовались

Таблица 2

Условия опытов по выяснению влияния неорганического фосфата на биохимические превращения ДНК

Компоненты	Карбонатный буфер	Вероналовый буфер	Глициновый буфер	Фосфатный буфер
ДНК (мг)	20	20	20	20
Буфер 0,3 *M* (pH 7,5) (мл)	0,5	0,5	0,5	0,5
Гомогенат костного мозга (1 : 1) (мл)	1	1	1	1
Тимол (мг)	0,5	0,5	0,5	0,5

нцентрированные буферные растворы (0,3 *M*). На таких же буферных растворах готовились и гомогенаты (1 : 1).

По схеме, указанной в табл. 2, были проведены опыты с гомогенатами стного мозга голубя и кролика. Проведено было несколько серий опытов азными сроками инкубации: 15 мин., 1 час, 2 и 5 час. Температура инку-

бации 30°. Анализ реакционных смесей по схеме, указанной выше (с хрома тографией в бутаноле + муравьиная кислота), показал, что количеств нуклеотидной фракции было резко увеличено опытах с применением фосфатного буфера по сра внению с количеством ее в пробах с другими буфер ными растворами. Количество других веществ, види мых в ультрахемископе (нуклеозидная фракция, фрак ция свободных нуклеиновых оснований), заметн не изменялась в различных условиях (см. рис. 2).

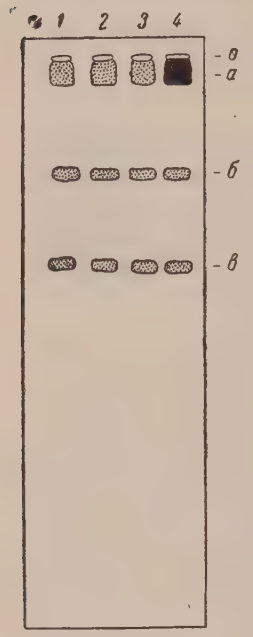


Рис. 2. Влияние неорганического фосфата на биохимические превращения ДНК: *о* — исходные положения при хроматографии, *а*—нуклеотидная фракция, *б* — нуклеозидная фракция, *в* —фракция свободных нуклеиновых оснований; *1*— карбонатный буфер, *2* — вероналовый буфер, *3* — глициновый буфер, *4* — фосфатный буфер

Хроматограмма на рис. 2 показывает, что из все исследованных буферных растворов только фосфат ный буфер стимулирует, и при том в весьма значи тельной мере, распад ДНК с образованием нуклеоти дов. В контрольном опыте было показано, что без до бавления ДНК усиленного накопления нуклеотидо не наблюдается. Большое накопление нуклеотидо из ДНК под влиянием фосфата наблюдалось уж при 15-минутной инкубации, и дальнейшее увелич ние срока инкубации уже не влияло в заметной мер на накопление этой фракции.

Хотя вышеприведенные данные и показываю существенное влияние неорганического фосфата н распад ДНК, однако наличия реакции фосфоролиз ДНК с образованием нуклеотидов они не доказывают так как оказалось, что связавшийся под влияние ДНК неорганический фосфат находится не в нукле отидной фракции. Интересно, что в последнее врем на бактериях было показано, что полинуклеотид играют важную роль в окислительном фосфорилиро вании ([9]).

Возможно, что резкое нарушение при облучени рентгеном как обмена ДНК, так и обмена неоргани ческого фосфата в некоторой мере обусловлено ука занными взаимосвязями ДНК и неорганическог фосфата в процессе обмена веществ.

Таким образом, совокупность приведенных нам экспериментов показывает тесную взаимосвязь био химических превращений неорганического фосфат и ДНК. В использованных нами условиях ДН обусловливает активацию какой-то реакции связыва ния неорганического фосфата. Неорганический фосфат резко активиру расщепление ДНК с образованием нуклеотидов.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
1 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] M. Grunberg-Manago et al., Science, **122**, № 3176, 907 (1955). [2] А. М. К зин и др., Очерки по радиобиологии, Изд. АН СССР, 1956, стр. 7—96. [3] Z. M. Bac P. Alexander, Fundamentals of Radiobiology, London, 1955 [4] А. П. Егоро В. В. Бочкарев, Кроветворение и ионизирующая радиация, 1955. [5] R. K. Mai L. Cole, V. P. Bond, Arch. Biochem. and Biophys., **56**, № 1, 143 (1955 [6] Е. М. Брумберг, ДАН, **78**, № 5, 885 (1950). [7] Г. А. Критский, В. А. Стру ков, Биохимия, **21**, № 6, 196 (1956). [8] Г. А. Критский, Г. Л. Мягкая, Биох мия, **21**, № 6, 649 (1956). [9] G. B. Pinchot, J. Am. Chem. Soc., **77**, 5763 (1955).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

БИОХИМИЯ

И. С. ЛУГАНОВА, И. Ф. СЕЙЦ и В. И. ТЕОДОРОВИЧ

ПОВЕРХНОСТНО-ЛОКАЛИЗОВАННАЯ АДЕНИЛПИРОФОСФАТАЗА В ЛЕЙКОЦИТАХ

(Представлено академиком К. М. Быковым 21 XI 1956)

Вслед за установлением факта широкого распространения в клетках аденозинтрифосфатазы, связанной с внутриклеточными структурами, внимание исследователей привлекли к себе сообщения о существовании аденилпирофосфатазы (АПФазы), локализованной на поверхности клеток. Еще в 1945 г. Манн сообщил о способности отмытых спермиев быка расщеплять добавляемую извне АТФ ([1]), а Ротштейн и Мейер нашли, что такой активностью обладают дрожжевые клетки ([2]). Группа венгерских исследователей обнаружила высокоактивную АПФазу на поверхности асцитических раковых клеток мышей ([3]). Фермент отщеплял оба подвижных фосфорных остатка АТФ с одинаковой скоростью и обладал высокой специфичностью по отношении субстрата. 0,15 мл клеток минерализовали за 30 мин. около 50 γ лабильного фосфора аденозинтрифосфата (примерно 2 мг фосфора на 1 мл клеток за 1 час). С еще большей скоростью, по данным Т. Н. Венкстерн и В. А. Энгельгардта, АТФ дефосфорилируется в суспензии ядерных эритроцитов голубя ([4]). В этом случае АПФаза также проявляла внеклеточную активность, что указывало на ее поверхностную локализацию. Фермент эритроцитов голубя отщеплял из добавленной АТФ около 8 μг фосфора на 1 мл клеток за 5 мин. (6,7 мг фосфора на 1 мл клеток за 1 час).

Ниже приводятся результаты опытов, демонстрирующие существование на поверхности различных видов лейкоцитов высокоактивной АПФазы, обращенной своим действием в окружающую среду. Испытывались лейкоциты: 1) из донорской крови; 2) из крови больных хроническим и острым миэлоидным лейкозом; 3) из крови больных лимфаденозом; 4) из эксудатов кролика. Лейкоцитные взвеси содержали очень небольшое число эритроцитов — соотношение лейкоцитов и эритроцитов было обычно 10 : 1 и меньше. Клетки взвешивались в сыворотке крови человека (эксудатные лейкоциты — в эксудате) и инкубировались в присутствии натриевой соли АТФ при 37° и pH 7,4. Параллельная проба сохранялась во льду. По окончании инкубации взвеси охлаждались (лед), клетки отделялись центрифугированием и в отстое после депротеинизации трихлоруксусной кислотой определялись ортофосфат и легко гидролизующийся фосфор АТФ (10 мин. 100° в 1 *н* HCl). Ряд контрольных опытов был поставлен с анализом не только сыворотки, но и содержимого клеток. Эти контрольные опыты показали, что заметных изменений в содержании внутриклеточного ортофосфата или фосфата АТФ за время инкубации не происходит. Поэтому в дальнейшем клетки не исследовались, а изучались лишь отстои после центрифугирования опытных суспензий. Ниже приведены результаты исследования поверхностно-локализованной АПФазы у различных групп лей-

коцитов (в мг лабильного фосфора АТФ, отщепляемого 1 мл сырых клеток за 1 час).

Лейкоциты из крови

доноров 5,20; 5,26; 4,36; 6,70
больных хронич. миэлоидным лейкозом 3,60; 6,90; 4,46; 5,84; 10,10
больных острым и подострым миэлоидным лейкозом 3,16; 5,04; 4,00; 5,36; 3,56; 4,35; 5,67; 5,40; 5,14; 5,70
больных лимфаденозом 5,40; 3,94; 4,10; 6,85; 5,80; 5,40; 4,60

Лейкоциты из эксудата кролика 4,1

Эритроциты крови человека 0,0

Приведенные результаты говорят о чрезвычайно высокой активности поверхностно-локализованной АПФазы у всех испытанных категорий лейкоцитов. Способностью расщеплять добавляемую извне АТФ обладают нормальные лейкоциты донорской крови, лейкоциты крови больных хроническим и острым миэлоидным лейкозом, лимфоциты крови больных лимфаденозом и лейкоциты из эксудатов кролика. Эта ферментная активность такова, что за 4—5 час. инкубации лейкоциты способны разрушить количество АТФ, равное их собственному сухому весу. В то же время эритроциты крови человека (после удаления лейкоцитов) совершенно лишены этой способности (табл. 1, графа 7). Столь высокая разрушительная активность лейкоцитов в отношении АТФ может быть истолкована по-разному. С одной стороны, уменьшение количества АТФ в суспензии может быть объяснено истинной АПФазной активностью, т. е. ферментативным гидролизом АТФ. С другой стороны, можно было думать о том, что дефосфорилирование аденозинтрифосфата является результирующей сложной цепи обменных реакций, в которых потеря фосфора АТФ является выражением позитивных метаболических превращений этого богатого энергией фосфорного соединения, связанных с участием в синтетических и межуточных реакциях обмена веществ на поверхности клеток. Экспериментальная проверка этого второго предположения дала отрицательный результат. Инкубирование суспензии лейкоцитов с АТФ и неорганическим радиоактивным фосфором (P^{32}) не приводило к появлению радиоактивности во внеклеточной (экзогенной) АТФ, что говорит против участия добавляемого аденозинтрифосфата в активном обмене поверхности белых кровяных клеток. Следует принять, по-видимому, что распад добавляемой АТФ происходит или в результате ферментативного ее дефосфорилирования под влиянием АПФазы, или вследствие энергичного одностороннего использования богатых энергией фосфорных остатков АТФ без соответствующего ресинтеза этого соединения.

Представляет интерес то обстоятельство, что поверхностно-локализованной АПФазой обладают не только гранулоциты, имеющие фагоцитарную активность. Способность расщеплять добавляемую АТФ показали также лимфоциты, лишенные фагоцитарной активности, и миэлобласты — наиболее молодая форма белых кровяных клеток (из крови больных острым лейкозом), также неспособные к фагоцитозу. Таким образом поверхностно-локализованная АПФазная активность никак не связана с фагоцитарной функцией лейкоцитов и биологический смысл ее остается неясным.

Особый интерес представлял вопрос о субстратной специфичности АПФазы поверхности лейкоцитов. Опыты показали, что этот фермент, по-видимому, в достаточной мере специфичен. Фруктозо-6-фосфат, фруктозо-1,6-дифосфат, 3-фосфоглицериновая кислота, адениловая кислота, козимаза, неорганический пирофосфат или не расщепляются вовсе при добавлении их к целым неповрежденным лейкоцитам, или расщепляются со скоростью несопоставимо малой по сравнению со скоростью гидролиза АТФ (пирофосфат, гексозодифосфат). Фермент, дефосфорилирующий АТФ, более активен в нормальной сыворотке, чем в солевых смесях. Ионы кальция (0,01 *М*) угнетают его активность, ионы магния (0,01 *М*)—

сивируют. Бромацетат ($2 \cdot 10^{-3}$ *M*) не уменьшает активности фермента, рее даже несколько увеличивает ее. Флуорид ($2 \cdot 10^{-2}$ *M*) снижает ско-сть ферментативного расщепления Ф лейкоцитами. Изучение влия-я pH среды на активность поверх-стно-локализованной АПФазы лей-цитов показало, что оптимальной я солевых растворов является кис-гность, соответствующая pH 9—10. опытах со взвесями лейкоцитов сыворотке максимальная активность рмента наблюдается при pH ближе). На рис. 1 изображено изменение тивности АПФазы лейкоцитов в за-симости от pH среды.

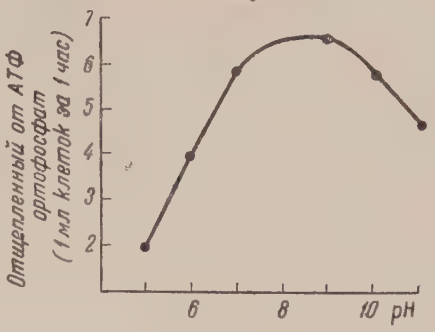


Рис. 1. Активность поверхностно-локализованной АПФазы лейкоцитов при различной кислотности среды (лейкоциты крови больного хроническим миэлоидным лейкозом в сыворотке, температура 37°, pH 7,4)

АПФаза лейкоцитов чувствитель-к повышению температуры. 10-ми-тное нагревание суспензии клеток и 45° снижает активность фермента 40% исходной, а после 10-минут-й инкубации при 50° остается лишь 15% начальной активности. На-орот, на холоду фермент сохраняется хорошо. Лейкоциты, постоявшие уток при +1°, не теряли АПФазной активности.

Из приведенных опытов следует, что различные виды лейкоцитов чело-ка и животных несут на своей поверхности высокоактивный фермент, щепляющий внеклеточную АТФ. Фермент высокоспецифичен, термола-лен, имеет оптимум pH около 9, угнетается Ca^{2+} и активируется Mg^{+2}, связан с фагоцитарной активностью клеток.

Ленинградский институт
переливания крови

Поступило
16 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] T. Mann, Biochem. J., **39**, № 5, 451 (1945). [2] A. Rothstein, R. Meier, Cell. and Comp. Physiol., **34**, № 1, 97 (1949). [3] G. Acs, W. Ostrowski, F. B. raub, Acta Physiol. Acad. Sci. Hung., **6**, № 2—3, 261 (1954). [4] Т. В. Венкстерн, А. Энгельгардт, ДАН, **102**, № 1, 133 (1955).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Г. Н. ВОЛОСЕВИЧ и Д. Н. ПОЛУБОЯРИНОВ

К ВОПРОСУ О ПУТЯХ РЕГУЛИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ КОРУНДОВОЙ КЕРАМИКИ

(Представлено академиком С. И. Вольфковичем 20 VIII 1956)

В настоящее время большое промышленное значение приобретает ко рундовая керамика. Чистая разновидность ее является моноокисной. Раз меры и форма кристаллов корунда в черепке такой керамики оказываю большое влияние на важнейшие ее рабочие свойства. В связи с этим боль шое практическое значение приобретают изучение способов регулировани структуры корундового черепка и ее влияния на свойства изделий.

В литературе был описан характер кристаллизации корундовой кера мики ([1,2]) и указывалось, что путем введения в черепок малых (0,5—2,0%) добавок удается оказывать существенное влияние на его кристаллизацию ([3]). В технике этот путь находит себе практическое применение ([4]). Характер кристаллизации корундового черепка в зависимости от вводимых добаво приведен в работах ([5,6]).

В настоящем исследовании для получения корундовой керамики бы использован технический глинозем марки Го, предварительно обожженны при 1450°. После измельчения и очистки он имел следующий состав (в %) Al_2O_3 99,89; SiO_2 0,04; Fe_2O_3 0,02; Na_2O 0,05.

Дисперсность глинозема, определенная как седиментометрическим мето дом, так и под микроскопом, характеризуется $d_{ср} = 1\ \mu$ при максимальном размере отдельных зерен $\sim 2\mu$. Удельный вес $d = 3{,}97$, показатель свето преломления $N = 1{,}750$.

Образцы для исследования изготовлялись протяжкой пластифициро ванной парафином массы, обжигом в окислительной среде (удаление пла стификатора) и окончательным обжигом в восстановительной среде в элект роводородной печи. Характер кристаллизации черепка, размеры кристал лов и их пористость изучались в основном на аншлифах в отраженном свете

Установлено, что с повышением температуры обжига происходит по степенное уплотнение черепка. Однако заметный рост исходных кристал лов α-глинозема наступает лишь после существенного уплотнения черепка при его объемном весе около 3,50—3,60 г/см³. В начале спекания идет ин тенсивный рост кристаллов, а затем по завершении спекания черепк (1650°) интенсивность роста замедляется (табл. 1). Черепок мелкокристал лического строения можно получить не только при низких температура обжига, но и при кратковременном нагреве до более высоких температур При длительной выдержке или при повторных обжигах черепок приобре тает крупнокристаллическое строение. Так, при обжиге на 1700° при 3-ча совой выдержке средний размер кристаллов возрастает до $200 \times 80\ \mu$.

Размеры пор в кристаллах корунда в среднем близки к размеру зере исходного порошка. Там, где исходный порошок мельче, число пор больше а размеры их меньше. Наибольшее количество пор приходится на середин кристаллов, на краях кристаллов как правило нет пор или они имеются в незначительном количестве. При температуре обжига 1850° средний раз мер пор в кристаллах корунда достигает 1—1,5 μ и поры занимают в отдель

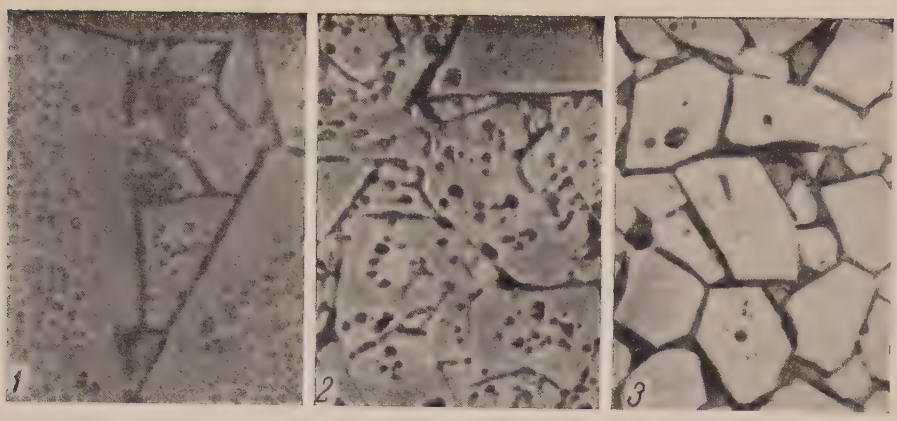


Рис. 1. Микроструктура корундовой керамики: *1* — без добавок, *2*, *3* — с добавкой 0,5% (*2*) и 2,5% (*3*) MgO. Обжиг при 1700°, 3 часа. Свет отраженный, 450×

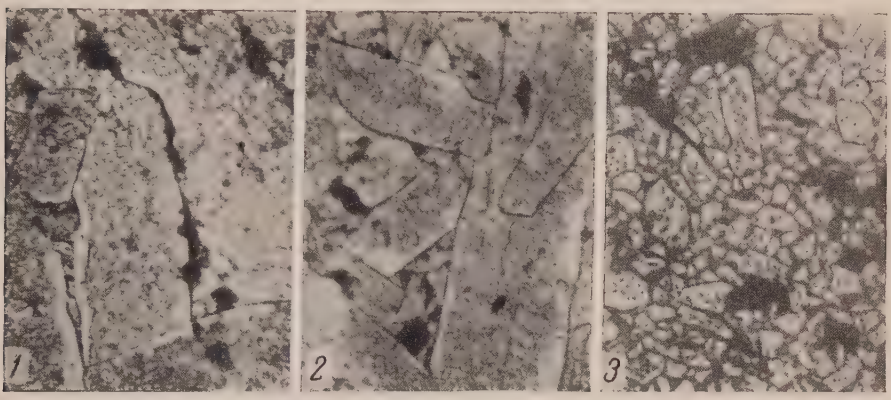
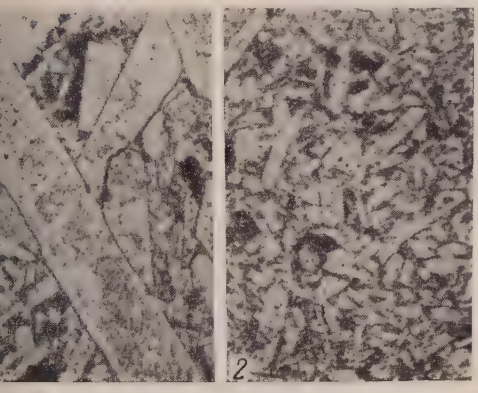


Рис. 2. Микроструктура корундовой керамики: *1* — без добавок, *2* — с добавкой 1,5% BeO, *3* — с добавкой 1,5 CaO. Обжиг при 1700°. Свет отраженный, 100×



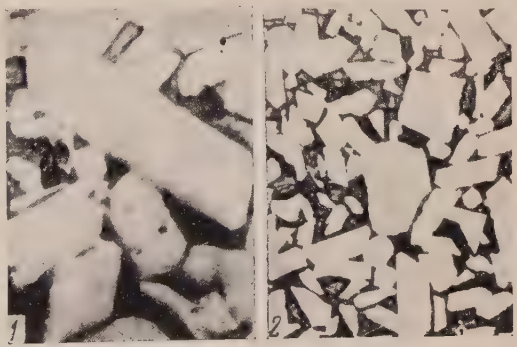


Рис. 3. Микроструктура корундовой керамики на основе глинозема М: *1* — с добавкой 1,5% ZnO, *2* — с добавкой 1,5% ZrO. Обжиг в водородной печи при 1700°, 3 часа. Свет отраженный, 100×

Рис. 4. Микроструктура корундовой керамики: *1* — с добавкой 5% плавня № 2, *2* — с добавкой 5% плавня № 3. Обжиг при 1800°, 1 час. Свет отраженный, 450×

х случаях до 5—7% площади кристаллов. Можно предполагать, что
и образуются за счет промежутков между мелкими кристаллами, обра-
ющими при рекристаллизации в крупные кристаллы.

Существенное влияние на спекание и характер кристаллизации корун-
вого черепка могут оказывать
зличные добавки, вводимые в ма-
х количествах. Механизм дейст-
я этих добавок еще недостаточно
учен (7). Некоторые из них,
ежде всего MgO; MgF_2, CaO, ZrO_2
зывают задержку роста кристал-
в корунда, придавая черепку
лкокристаллическую структу-
(3). Мы выяснили, что введение
—2,5% MgO вызывает резкое
кращение размеров кристаллов
рунда в черепке (табл. 2), ко-
рое сопровождается и сущест-
нным изменением формы кри-
аллов, а именно — уменьшением
ста кристалла по оси симмет-
и L_6^3. Кристаллы корунда при-
ретают как бы более изометрическую форму (рис. 1). Рентгенографи-
ским и петрографическим исследованием корундового черепка* с добав-
ми MgO установлено образование в нем шпинели. В связи с этим меха-
низм действия добавки MgO
можно связать с образованием
шпинели по поверхности кри-
сталлов корунда, что в дальней-
шем мешает их рекристаллиза-
ционному росту. Как известно,
температура образования шпи-
нели (1200°) лежит значительно
ниже температуры интенсив-
ной рекристаллизации корунда
(1650°) (см. табл. 1).

Изменение характера кри-
сталлизации корундового череп-
а с добавками MgO выражается в некотором увеличении его плотности,
существенном снижении температур спекания и резком увеличении проч-
сти (табл. 2). При этом характер кристаллизации черепка и указанные
о свойства не зависят от того соединения, в котором MgO была введена в
ассу.

Уменьшение размеров кристаллов (рис. 2) обнаруживается и при добавке
aO. Новообразующимся веществом в этом случае, судя по рентгеновскому
нализу, является β-глинозем. Однако прочностные и диэлектрические свой-
ва корундовой керамики с добавками CaO резко отличаются от таковых
ри добавке MgO (см. табл. 2). Очевидно здесь имеют значение не только раз-
еры основного кристаллического вещества — корунда, но и природа и
ойства пограничных с ними новообразований, в данных случаях шпинели
ли β-глинозема. Однако добавки CdO; SrO и BaO, которые также могут
ызвать образование β-глинозема, не оказывают влияния подобного MgO
CaO. Значительно меньшее снижение роста кристаллов корунда дости-
ется при добавлении ZrO_2 (рис. 3). Кристаллических новообразований
данном случае не обнаружено, механизм действия здесь, по-видимому,
ной.

Таблица 1

Связь между температурой обжига и размерами кристаллов корунда

Темпер. обжига, С*	Объемный вес, г/см³	Водопоглощ., %	Размер кристаллов, μ		Прочность при изгиб кГ/см²
			средний	максим.	
1550	3,36	4,1	3×2	4×3	1410
1600	3,52	2,7	8×4	20×10	2080
1650	3,71	0,1	80×35	150×50	2540
1700	3,75	0	105×45	200×60	2340
1750	3,75	0	120×50	250×80	2320
1800	3,78	0	130×60	300×85	2140

* Выдержка 1 час.

Таблица 2

ияние добавок MgO на корундовый черепок
(обжиг при 1700°, выдержка 3 часа)

добавки MgO, %	Объемн. вес, г/см³	Водопоглощ., %	Размер кристаллов, μ		Прочность при изгибе, кГ/см²
			средний	максим.	
0	3,75	0	200 × 30	500 × 170	1880
0,5	3,82	0	35 × 20	80 × 20	—
1,5	3,81	0	25 × 20	45 × 40	2460
2,5	3,79	0	15 × 15	40 × 30	—

* Выполнены А. В. Безносиковой и М. Е. Яковлевой.

Таблица 3

Влияние добавок на корундовый черепок (обжиг при 1700°)

Наименование добавок	Количество добавок, %	Продолж. выдержки, час.	Объемный вес, г/см³	Размер кристаллов, μ		Прочность при изгибе кГ/см²
				средний	максим.	
Без добавок	0	3	3,75	200 × 80	500 × 170	1880
MgO	1,5	3	3,81	25 × 20	45 × 35	2460
CaO	1,5	3	3,50	50 × 20	150 × 40	1740
ZnO	1,5	3	3,80	200 × 60	700 × 100	1750
SrO	1,5	3	3,77	60 × 20	130 × 40	1880
ZrO_2	2,5	1	4,00	75 × 40	125 × 60	2340
Cr_2O_3	2,5	1	3,84	450 × 150	1500 × 200	775

Ряд других добавок: ZnO; TiO_2; Fe_2O_3; MnO; Cr_2O_3 и др., в отличие о вышеупомянутых, вызывает рост кристаллов корунда. Действие некото рых из них выражается в снижении температуры рекристаллизации, чт приводит к существенному снижению температуры обжига, необходимо для спекания черепка. Особенно эффективной добавкой оказалась TiO_2 которая образует с корундом твердый раствор внедрения. Это находит сво выражение в изменении параметров кристаллической решетки корунда, ак тивизирующего способность к рекристаллизации ([8]). Известно также, чт рекристаллизации способствует переход ионов Ti^{+4} (0,64 Å) при высоки температурах в Ti^{+3} (1,05 Å), вызывающий разрыхление кристаллической ре шетки корунда ([9]). Это действие добавок TiO_2 в количестве до 2,5% сопро вождается снижением необходимых температур обжига с 1700° д 1500—1550°.

При обжиге в восстановительной среде сильно меняется характер кри сталлизации корундового черепка с добавками TiO_2. Размеры кристалло уменьшаются, их форма становится более изометричной. Петрографическо исследование таких образцов * показало, что кристаллы таблитчатые, сжа ты по оси L_6^3 и развиты по плоскости C. Размеры кристаллов при обжиг при 1700° в течение 1 часа (1,5% TiO_2) в окислительной среде достигаю 350 × 40 μ, а в восстановительной — 80 × 60 μ.

Однако большинство добавок, способствующих росту кристаллов ко рунда, не вызывает заметного снижения температуры спекания корундо вого черепка. Например, добавки BeO; ZnO; Cr_2O_3 вызывают увеличени кристаллов корунда в среднем до 200—400 μ (см. табл. 3), не снижая необ ходимой температуры обжига, которая лежит около 1700°, как и дл чистого корундового черепка (ср. табл. 1).

Исследование действия добавок 2,5 и 5,0% трех синтезированны стекол (плавней), представляющих составы эвтектик трехкомпонентны систем, а именно: MgO — Al_2O_3—SiO_2 (№ 1); CaO — Al_2O_3— SiO_2 (№ 2) CaO — B_2O_3 — SiO_2 (№ 3) позволило установить прямую связь характер воздействия с химическим составом плавней. Эти добавки снижают темпе ратуры спекания черепков с 1700° до 1500—1550°. Особенно эффективн проявляется действие этих стекол на снижение температуры спекания че репков из грубодисперсного глинозема и электроплавленного корунда Например, образцы из грубодисперсного электроплавленного корунд ($d_{ср}$= 14,8 μ) при обжиге при 1800° имели объемный вес 2,73 г/см³ и водо поглощение 10,2%, а при добавке 5% стекла № 2 при обжиге при 1650 имели объемный вес 3,62 г/см³ и нулевое водопоглощение. Добавки стекол вызывают также ограничение роста кристаллов корунда, исчезновение по в кристаллах (рис. 4) и значительно повышают прочность спекшегося че репка (глинозем $d_{ср}$= 1,95 μ — табл. 4). Характер кристаллического строе ния корундового черепка с добавками стекол и связь этого строения с хи мическим составом стекла позволяет говорить о том, что рекристаллиза

* Выполнено М. Е. Яковлевой.

Таблица 4

Влияние добавок стекла на корундовый черепок

Температ. обжига °С *	№ плавня **	Объемн. вес, г/см³	Водопогл., %	Средн. размер кристалл., μ	Прочность при изгибе, кГ/см²
1600	Без плавня	3,52	2,7	—	2281
	№ 1	3,68	0	15 × 10	3200
	№ 2	3,67	0	15 × 10	3250
	№ 3	3,72	0	10 × 5	4080
1700	Без плавня	3,68	0,2	70 × 40	1990
	№ 1	3,76	0	50 × 20	3240
	№ 2	3,79	0	40 × 20	3580
	№ 3	3,75	0	20 × 10	36.0
1800	Без плавня	3,73	0	135 × 60	1780
	№ 1	3,72	0	60 × 25	3100
	№ 2	3,73	0	50 × 25	3170
	№ 3	3,74	0	20 × 10	3030

* Выдержка 1 час.
** Добавка 5%.

корунда идет в данном случае через жидкую фазу. Этим объясняется ке отсутствие пор в кристаллах корунда.

Полученные нами результаты показывают, что структура корундового епка зависит от ряда технологических факторов, изменением которых жно влиять на структуру черепка и, следовательно, на некоторые его йства.

Поступило
5 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. С. Белянкин, В. В. Лапин, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 121, петр., № 36 (1950). [2] Д. С. Белянкин, Б. В. Иванов, В. В. Лапин, ография технического камня, Изд. АН СССР, 1952, стр. 285. [3] E. Rychkewitch, chsaal, 88, №№ 20, 21 (1955). [4] И. И. Китайгородский, Н. М. Павшкин, Стекло и керамика, № 11 (1955). [5] Г. Н. Волосевич, Изучение ктуры корундовой керамики и ее связи с некоторыми физико-механическими свойствами. сертация, МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1955. [6] Н. Н. Силина, Исследование ния добавок ZrO_2, Cr_2O_3, TiO_2 и MgO на некоторые важнейшие свойства корундовой ке-ки. Диссертация, МХТИ им. Д. И. Менделеева, 1955. [7] W. J. Smothers, J. Reynolds, JACS, 37, № 12 (1954). [8] В. А. Брон, Огнеупоры, № 7). [9] Г. В. Куколев, Е. Н. Леве, ЖПХ, 28, № 9 (1955). [10] Д. Н. Полоярinов, Г. Н. Волосевич, Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева, в. 21 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОЛОГИЯ

О. К. БОРДОВСКИЙ

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА В ОСАДКАХ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ

(Представлено академиком С. И. Мироновым 21 IX 1956)

Гуминовые вещества * составляют значительную долю органического ества морских осадков и осадочных пород и поэтому вполне понятен про- яемый к ним интерес. Некоторые исследователи отводят им немаловаж- роль в образовании нефти (1), другие, напротив, видят в их образовании ачение обратное битуминизации» (2). Кроме того, изучение гуминовых еств проливает свет на состав органического вещества — компонента дка, играющего главную роль в диагенезе.

Гуминовые вещества возникают в окислительных условиях благодаря действию микроорганизмов на органические остатки. Часть органиче- го вещества, избежавшая полного разложения, преобразуется в более бильную в этих условиях структуру — гуминовые вещества. Характер- что, несмотря на разнообразие исходного материала, возникающие миновые вещества обладают близким химическим составом (3).

Содержание гуминовых веществ определялось нами колориметрическим годом. В качестве эталона применялся раствор гуминовых веществ, из- ченных из смешанной пробы осадков Берингова моря. Всего было ис- едовано 26 дночерпательных проб различных осадков западной части рингова моря, полученных из лаборатории морских отложений Институ- океанологии АН СССР.

Количество гуминовых веществ в осадках западной части Берингова ря изменяется от 0,08 до 1,02% и составляет в среднем 0,38% на натураль- й сухой вес осадка. Для сравнения приведем имеющиеся немногочислен- е данные по содержанию гуминовых веществ в осадках других морей. осадках Каспийского моря гуминовых веществ содержится 0,02—0,20%; окраинных морях 0,13—0,80%, в среднем — 0,50%. В осадках Черного ря гуминовые вещества составляют 0,14—0,38% (4). Среднее содержание в черноморских осадках равно 0,30% и, таким образом, довольно близко средней величине концентрации гуминовых веществ в осадках Берингова ря.

По гранулометрическим типам осадков Берингова моря гуминовые ве- ества распределяются следующим образом (см. табл. 1).

Из приведенных данных видно, что наибольшей концентрацией гуми- вых веществ отличаются алеврито-глинистые (0,77%) и глинистые (0,48%) ы. Минимальным содержанием характеризуются крупные и мелкие пески ответственно 0,12 и 0,21%). Крупные алевриты и мелкоалевритовые илы нимают промежуточное положение.

Сопоставление содержания гуминовых веществ с концентрацией $C_{орг}$ тех же типах осадков показывает между ними тесную связь: максималь- м содержанием $C_{орг}$ отличаются алевритово-глинистые и глинистые илы,

* Под гуминовыми веществами подразумеваются вещества, экстрагированные 2%-м твором KOH при температуре 60—70° из образцов прдварительно освобожденных от би- ов.

Таблица 1

Содержание гуминовых веществ, органического углерода и гуминовый коэффициен по гранулометрическим типам осадков Берингова моря

Типы осадков	Число анализов	Гуминовые вещества в % на натуральн. сухой вес		$C_{орг}$ в % на натуральн. сухой вес *	Гуминовый коэффициен	
		пределы	средн.		пределы	средн
Крупные и средние пески	2	0,11—0,12	0,12	0,32	18,6—29,4	24,
Мелкие пески	3	0,08—0,32	0,21	0,51	16,8—32,4	26,
Крупные алевриты	9	0,17—0,76	0,38	0,77	18,0—30,0	25,
Илы мелкоалевритовые	4	0,12—0,62	0,31	0,74	18,8—26,4	23,
Илы алевритово-глинистые	5	0,47—1,02	0,77	1,46	23,7—39,8	29,
Илы глинистые	3	0,19—0,70	0,48	0,88	19,0—35,4	27,

* Наши данные по среднему содержанию $C_{орг}$ по типам осадков несколько отл чаются от данных приводимых А. П. Лисицыным (5), что возможно связано с меньш числом выполненных нами анализов.

а минимальным пески. На графике зависимости между концентрацией г миновых веществ и содержанием $C_{орг}$ видно, что эта зависимость близк к прямой (рис. 1).

Возрастание содержания гуминовых веществ при переходе от крупны к более мелким гранулометрическим разностям осадков было также отм чено Ш. Ф. Мехтиевым и Т. М. Дигуровой для третичных отложени юго-восточного Кавказа и В. В. Вебером для ра личных осадков фаций заливов Каспийского м ря (6,7). Однако объяснение этого явления «боль шей поглотительной способностью более тонк зернистых осадков по отношению к раствор ным в воде гуминовым веществам» (7) нам пре ставляется мало вероятным. Против этого гов рит прямая связь гуминовых веществ с распр делением органического вещества, а объяснят тяготение органического вещества к более ди персным осадкам поглощением его, вряд ли б дет правильным. Кроме того, максимальны содержания гуминовых веществ и $C_{орг}$ в Берин говом море приходятся на группу алевритов глинистых, а не глинистых илов, что так противоречит представлению о ведущей ро поглощения в распределении гуминовых в ществ.

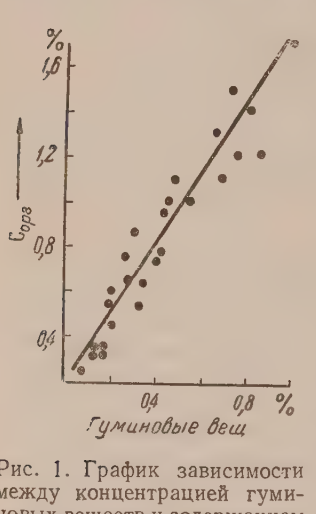


Рис. 1. График зависимости между концентрацией гуминовых веществ и содержанием органического углерода

Тесная связь гуминовых веществ с органиче ским веществом осадков находит свое отражение в распределении их по площади. На схематическо карте видно, что в осадках материковой отмели концентрация гуминовы веществ обычно не превышает 0,20% (рис. 2). Такими же низкими содерж ниями характеризуются осадки подводного хребта Ширшова. В Анадырско заливе, где материковая отмель достигает большой ширины, концентраци гуминовых веществ возрастает от прибрежных районов и достигает макс мальных значений в центральной части залива.

В глубоководных Западной и Восточной котловинах моря зона высоки концентраций гуминовых веществ опоясывает основание материковог склона, а вверх по склону и к центральным частям котловин концентраци их убывает. Примерно такой же план распределения органического углерод был ранее установлен для осадков этого района А. П. Лисицыным (5).

Для оценки роли гуминовых веществ в составе органического вещества пользуемся гуминовым коэффициентом, под которым подразумевается ошение углерода гуминовых веществ к общему органическому углероду, раженное в процентах *. Гуминовый коэффициент меняется от 16,8 до 8 и составляет в сред- 26,0. Другими сло- ии около четверти ор- ического вещества дков Берингова моря дставлено гумино- м веществом.

Распределение гуми- вого коэффициента по нулометрическим ти- м осадков близко к щему плану распреде- ния гуминовых ве- ств, а следовательно, всего органического щества в целом. Наи- сшего значения гу- новый коэффициент стигает в группе евритово - глинистых ,8%) и глинистых ,6%) илов. Правда, нимальные его значе- я падают не на груп- крупных и средних сков, где он составля- 24,0%, а на мелко- евритовые илы (23,0%), но эта разница незначительна. Гуминовые коэффициенты мелких песков и крупных алевритов лежат между этими крайними значениями.

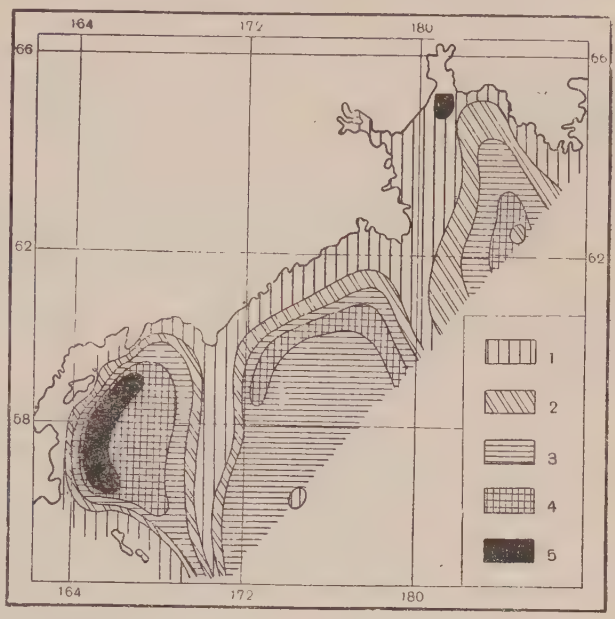


Рис. 2. Схематическая карта распределения гуминовых веществ в верхнем слое осадков западной части Берингова моря. *1* — < 0,2%, *2* — 0,2—0,4%, *3* — 0,4—0,6%, *4*—0,6—0,8%, *5*—> 0,8%

Из этих данных видно, что роль гуминовых веществ в общей массе органического вещества возрастает по мере увеличения его концентрации осадках. До некоторой степени это положение можно объяснить тем, что сокие концентрации органического вещества связаны с более тонкими адками, отлагающимися, как правило, на больших глубинах. Благодаря му в них попадает более стабильное органическое вещество. Но высоким ачением гуминового коэффициента отличаются и некоторые осадки Анарского мелководья, где в отдельных случаях он достигает 29,2—29,6. оме того, количество гумифицированного органического вещества не- олько снижается от периферических к центральным частям глубоководных котловин.

Характерной чертой химического состава гуминовых веществ осадков рингова моря является довольно высокое содержание водорода и азота бл. 2).

По-видимому, эти признаки отчасти связаны с исходным органическим ществом — диатомовыми водорослями, в которых большая роль принадлежала углеводам и белкам. Данные табл. 2 показывают, что по элементарному составу исследованные гуминовые вещества несколько отличаются от миновых веществ наземного происхождения. Величина отношения C/H, орую можно использовать в качестве показателя степени конденсированности гуминовых веществ, в исследованных образцах меняется от 6,8 до

* За содержание углерода в гуминовом веществе мы принимали 54,11% — содержание рода в гуминовом веществе эталона.

Таблица 2

Элементарный состав гуминовых веществ некоторых осадков Берингова моря (в %)

Тип осадка	Глубина в м	C	H	C/H	N	C/N	O + S
Сборная проба	—	54,11	6,48	8,3	3,00	18,0	36,41
Илы алевритово-глинистые	3151	54,75	6,30	8,7	2,98	18,3	35,97
Мелкий песок	508	53,93	6,10	8,8	3,08	17,5	36,89
Крупный алеврит	82	52,25	6,93	7,5	3,84	13,6	36,98
Крупный алеврит	67	49,23	7,16	6,8	2,80	17,6	40,81

8,8, в то время как в гуминовых веществах почв она колеблется от 12,0 до 21,4 ([8]). Судя по этому показателю, исследованные гуминовые вещества отличаются невысокой степенью конденсации. Возможно, что это связано с известной анаэробностью подводных осадков, что по мнению В. А. Успенского способствует более высокому содержанию водорода ([3]).

Таблица 3

Содержание азота в гуминовых веществах некоторых осадков Берингова моря в процентах от общего азота

Тип осадка	Глубина в м	Гум. вещ. в % на натуральн. сухой вес	Общий азот в % на натур. сухой вес	Элементарный азот в гум. вещ. в %	Азот в гум. вещ. в % от общего азота
Ил глинистый	3857	0,19	0,062	3,44	10,4
Ил алевритово-глинистый	3491	1,02	0,170	2,26	13,5
То же	3151	0,87	0,120	2,98	21,5
Мелкоалевритовый ил	1557	0,20	0,052	3,07	11,8
Крупный алеврит	1743	0,76	0,120	1,97	12,4
» »	82	0,42	0,900	3,84	18,0
» »	74	0,20	0,068	2,41	7,1
» »	67	0,66	0,220	2,18	8,5
Мелкий песок	508	0,32	0,057	3,08	17,0

Если сравнить отношение C/H исследованных образцов между собой, то можно заметить, что оно выше в гуминовых веществах глубоководных осадков. Так, отношение C/H в гуминовом веществе алевритово - глинистого ила, взятого в Западной котловине с глубины более 3 км, равно 8,7. Таким же примерно отношением характеризуется гуминовое вещество мелкого песка верхней части материкового склона (глубина 508 м). Гуминовые вещества крупноалевритовых мелководных осадков (глубина 67—82 м) имеют отношение C/H = 7,5—6,8. Таким образом, создается впечатление, что гуминовые вещества глубоководных осадков обладают несколько более конденсированной структурой, чем мелководных.

Содержание азота в исследованных гуминовых веществах колеблется от 1,97 до 3,84%, что в процентах от общего азота составляет следующие количества (табл. 3).

Данные табл. 3 показывают, что от 7,1 до 21,5% общего азота осадков Берингова моря связано с гуминовыми веществами, а в среднем в них заключено около 13% общего азота.

Институт нефти
Академии наук СССР

Поступило
20 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. А. Соколов, Сборн. пам. акад. И. М. Губкина, Изд. АН СССР, 1951. [2] В. В. Вебер, К познанию современных аналогов нефтеносных фаций, М., 1950. [3] В. А. Успенский, О. А. Радченко, Геол. сборн. 1, Тр. ВНИГРИ, 83 (1955). [4] А. И. Горская, Сборн. Накопление и преобразование органич. вещества в современных морских осадках, 1956. [5] А. П. Лисицын, ДАН, **103**, № 2 (1955). [6] Ш. Ф. Мехтиев, Т. Н. Дигурова, Докл. АН АзербССР, 8, № 9 (192). [7] В. В. Вабер и др., Сборн. Накопление и преобразование органич. вещества в современных морских осадках, [8] М. М. Кононова, Почвоведение, № 3 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОЛОГИЯ

А. А. ВЕЛИЧКО

О ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ВОЗРАСТЕ ВЕРХНЕПАЛЕОЛИТИЧЕСКИХ СТОЯНОК БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ДЕСНЫ И ИХ СТРАТИГРАФИЧЕСКОМ ЗНАЧЕНИИ

(Представлено академиком И. П. Герасимовым 8 X 1956)

1. В настоящее время все яснее становится необходимость развития совстных палеогеографических и археологических работ.

Автор проводил исследования в бассейне средней Десны, в одном из ючевых районов верхнего палеолита на Русской равнине, а также на хнепалеолитических стоянках долин Сейма и Дона *.

Все верхнепалеолитические стоянки средней Десны располагаются на соком правобережье реки, в пределах приводораздельного склона. Стоян в долине Судости (правый приток Десны) находятся на низких надпойных (первой и второй) террасах реки.

Стратиграфия водораздельных четвертичных отложений представляется ледующем виде. На ранне-четвертичных отложениях (рис. 1, *а*), представных продуктами выветривания коренных пород (верхнемеловыми опоми, мергелями и мелом) и следами древних почвообразовательных прососов, залегает комплекс ледниковых отложений днепровского возраста ис. 1, *б*).

Выше располагается погребенная почва днепровско-валдайского возра (*в*) с хорошо выраженными генетическими горизонтами (гумусовым, щелачивания и вмывания). Общая мощность ее достигает 2,5—3 м. Почва гребена под толщей лессовидных отложений (в основном супесей), достиющих мощности вблизи долины 8—10 м. Толщу лессовидных отложений ается расчленить на два комплекса — нижний и верхний.

Нижний комплекс (*г*) лессовидных отложений является основным на доразделъных пространствах. Он представлен, как правило однородными, абослоистыми лишь в нижней части, сильно карбонатными лессовидными супесями. Как показал пыльцевой анализ, в нижнем комплексе содержится пыльца растений, хотя и в небольшом количестве, но определенного, лодного, сухостепного облика (Gramineae, Chenopodiaceae, Artemisia, акже Betula nana) **. По верхнему контакту комплекса (*г*) выделяются еды криогенных деформаций в виде мерзлотных клиньев и остатков лигональных трещин (*ж*).

Верхний комплекс лессовидных отложений (*з*) на плоских водораздельх пространствах имеет небольшую мощность и нередко не прослеживается. Мощность его увеличивается в сторону долины реки, где он срезает жний комплекс и днепровско-валдайскую почву. Лессовидные отложения хнего комплекса обычно слабо карбонатны, местами явно слоисты. Верху комплексу свойственна пыльца иного облика, чем нижнему. Здесь наря-

* Работы проводились совместно: отрядом Института географии АН СССР и экспеией Института истории материальной культуры АН СССР, руководимой А. Н. Рогаче-

** Определения Р. В. Федоровой.

ду с элементами степной растительности появляются единичные зерна пыльцы древесной растительности (Betula, Alnus, Quercus, Tilia Corylus).

Лессовидные отложения нижнего однородного карбонатного комплекса формировались в условиях засушливого, холодностепного климата перигляциальной зоны первой половины валдайского оледенения. Особенно суровые условия существовали в период максимального продвижения ледника к югу, когда его граница проходила в 300—400 км к северу от данной территории. Тогда здесь развивались мерзлотные деформации. Верхний, слоистый, слабо карбонатный комплекс отлагался в период второй половины оледенения, когда климат постепенно становился более влажным, появлялась древесная растительность умеренного типа, усиливались водно-аккумулятивные процессы.

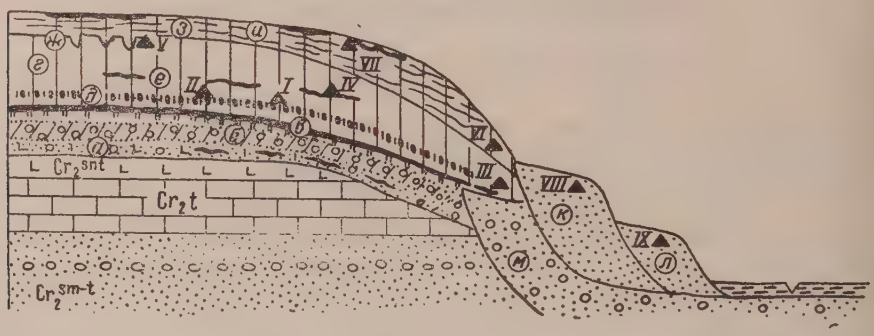


Рис. 1. Схема стратиграфического положения стоянок верхнего палеолита в бассейне Средней Десны: *I* — Пушкари I; *II* — Погон; *III* — Чулатово I; *IV* — Чулатово II; *V* — Бугорок; *VI* — Супонево; *VII* — Тимоновка; *VIII* — Елисеевичи; *IX* — Юдиново. Буквенные обозначения см. в тексте

Из аллювиальных уровней, в долинах рек Десны и Судости на правобережье, где находятся стоянки, в современном рельефе выражены две низкие надпойменные террасы, высотой 20—23 м (*к*) и 10—12 м (*л*) над уровнем рек. Наиболее древняя, вторая надпойменная терраса срезает толщу нижнего основного комплекса лессовидных отложений. Установлено также, что аллювий этой террасы (*к*) формировался частично за счет размыва лессовидных отложений нижнего комплекса. Из этого следует, что обе низкие террасы формировались в период второй половины валдайского времени. Они вложены в погребенный днепровско-валдайский аллювиальный комплекс (*м*).

2. Верхнепалеолитические стоянки бассейна средней Десны находятся в следующих стратиграфических условиях. Стоянка Пушкари I: конец ориньяко-солютрейского времени ([1]), приурочена к кровле горизонта среднегумусированной супеси (рис. 1, *д*), располагающейся в основании нижнего комплекса лессовидных отложений. Стоянка Погон: переход от солютрейской эпохи к мадленской ([1]), занимает то же стратиграфическое положение, что и Пушкари I и по геолого-геоморфологическим данным одновозрастна ей. Чулатово I: ранняя пора мадлена ([2]), в настоящее время памятник полностью разрушен, судя по имеющимся данным ([3]) культурный слой его залегал в основании нижнего комплекса лессовидных отложений. Культурный слой стоянки Чулатово II (поздний мадлен ([2])) залегает в средней части нижнего комплекса лессовидных отложений и приурочен к тонким линзам среднегумусированного суглинка (рис. 1, *е*) с ячеистой структурой и включениями белоглазки. Наконец, в самой верхней части толщи нижнего комплекса лессовидных отложений залегает стоянка Бугорок. Культурный слой ее нарушен мерзлотными клиньями. Археологическая датировка Бугорка — вторая половина мадлена ([1]).

Стоянка Супонево археологами относится к развитому мадлену ([4]), льтурный слой ее залегает в толще верхнего комплекса лессовидных ложений в древнем днище балки, которое увязывается со второй надпойнной террасой Десны. Тимоновская стоянка залегает в самой верхней сти верхнего комплекса лессовидных отложений и приурочена к линзам следами почвообразовательных процессов (*и*), венчающих этот комплекс. археологической датировке ее также нет единого мнения: от мадлена ([4]), верхнего ориньяка ([5]).

На р. Судости изучены две верхнепалеолитические стоянки, обе относие к мадлену ([6,7]). Из них Елисеевичская стоянка залегает в самой верхй части второй надпойменной террасы, а стоянка Юдиново — к верхам овой надпойменной террасы.

Геолого-геоморфологические условия залегания стоянок указывают на следующий геологический возраст. Стоянки Пушкари I, Погон и Чуево I относятся к началу валдайского времени; Чулатово II к первой повине валдайского времени; Бугорок — к середине оледенения (конец овой половины). Второй половине оледенения соответствуют стоянки Суево и Елисеевичи. На Тимоновской и Юдиновской стоянках человек лился в самом конце валдайского оледенения.

3. Как можно видеть, вся группа верхнепалеолитических памятников сейна средней Десны, начиная с наиболее древних (ориньяко-солютрейх), соответствует времени валдайского оледенения. Эти факты заставот поставить вопрос о правильности установившейся в литературе точки ния ([8]), согласно которой верхний палеолит охватывает время днепровго оледенения (нижний ориньяк), днепровско-валдайское межледниковье иньяк-солютре) и валдайское оледенение (мадлен). Эта схема, несмотря свою стройность, не находит подтверждения не только на верхнепалеолитеских памятниках бассейна средней Десны, на которых она во многом товывалась, но и на обследованных нами памятниках долин Сейма и верхо Дона. Например, Авдеево на Сейме (позднее солютре ([4])) соответствует, полученным данным, концу первой половины валдайского оледенения. донской стоянке Гагарино (археологическая датировка — поздний иньяк ([9])) по геологическим данным человек селился в конце валдайго времени. Таким образом, полученные нами материалы говорят о том, верхний палеолит указанных участков Средне-Русской возвышенности тветствует времени валдайского оледенения. В этом случае нижний дел верхнего палеолита здесь становится моложе и, следовательно, каются его хронологические границы в целом.

Следует отметить, что предлагаемый вывод сближает геологический возт верхнего палеолита в Западной и Восточной Европе.

4. Другой вывод, вытекающий из имеющихся материалов, касается страрафического значения верхнепалеолитических памятников в четвертичи геологии. Выше было показано, что Пушкари I (позднее солютре), гон (переход от солютре к мадлену), Чулатово I (ранний мадлен) имеют наковый, ранневалдайский возраст. Далее, Бугорок (поздний мадлен) ируется средневалдайским временем, а, например, Тимоновка (мадлен) осится к концу валдайского времени. В то же время поздне-солютрейй памятник Авдеево датируется средневалдайским временем, а позднеютрейский памятник Боршево I ([4]) — концом валдайского времени. Сюже следует отнести поздне-ориньякскую стоянку Гагарино. Все это укаает на несоответствие между геологической датировкой памятников и ировкой только по кремневому инвентарю согласно стадиальной схеме тильe. Особенно четко несостоятельность стадиальных схем стала ясна ле изучения многослойных стоянок в Костенках ([10]), где было обнаружезалегание ориньякского слоя между двумя солютрейскими. Эволюционикая схема ориньяк — солютре — мадлен, рисующая развитие общества в хнем палеолите как простую смену стадий, не учитывает сложность орического процесса, редкость доисторического населения, замкнутость

дельных общин, а также сравнительно небольшую величину промежутка времени (валдайское оледенение), охватывающего верхний палеолит. Факты указывают, что отдельные дробные деления верхнего палеолита не могут быть применены в стратиграфических целях. В то же время нельзя отрицать стратиграфического значения указанных верхнепалеолитических памятников вообще, учитывая, что они залегают обычно в отложениях валдайского возраста.

Институт географии
Академии наук СССР

Поступило
8 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] П. И. Борисковский, Сов. археол., 15 (1951). [2] М. В. Воеводский, Палеоліт і неоліт України, 1, 1941. [3] І. Г. Підоплічка, Палеоліт і неоліт України, 1, 1941. [4] П. П. Ефименко, Первобытное общество, 1953. [5] В. А. Городцов, Вестн. АН СССР, № 6 (1932). [6] К. М. Поликарпович, Тр. 2 Междунар. конфер. Асс. по изучению четверт. периода, в. 5 (1934). [7] К. М. Поликарпович, Сов. археол., № 5 (1940). [8] В. И. Громов, Тр. ИГНАН СССР, сер. геол., в. 64 (1948). [9] С. Н. Замятин, Изв. ГАИМК, в. 118 (1935). [10] А. Н. Рогачев, Мат. и исслед. по археол. СССР, № 39 (1953).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОЛОГИЯ

М. Е. ВОСКОБОЙНИКОВ

О ВРЕМЕНИ УСТАНОВЛЕНИЯ ПЛАТФОРМЕННОГО РЕЖИМА В ВОСТОЧНОМ ПРИАРАЛЬЕ

(Представлено академиком К. И. Сатпаевым 14 IX 1956)

Область развития меловых пород между Казалинском и Джусалами . А. Петрушевским (3) рассматривалась как погребенное продолжение ребта Кара-Тау. В настоящее время установлено, что эта область является рупным обособленным Джусалинским поднятием. Ориентировано оно юго-юго-западном направлении и осложнено более мелкими структурами -го и 3-го порядков. В ядрах некоторых из них вскрываются более древ- ие отложения верхнего мела — сеноманские (2). Выходов на поверхность ород древнее сеномана на всей площади Джусалинского поднятия встре- ено не было. Залегают верхнемеловые породы почти горизонтально. На рыльях и в области погружения этого поднятия наблюдается падение лоев под углом до 3—7°.

К юго-востоку и северо-востоку от описываемого района развиты по- оды палеозойского складчатого комплекса, которыми сложены горы Улу- ау и Кара-Тау. Более молодых пород складчатого комплекса, чем перм- кие, ни в упомянутых горах, ни в Бедпакдале известно не было. Это да- ало повод многим исследователям (1,3,4), считать, что мезозойские породы, азвитые в низовьях р. Сыр-Дарьи и Тургайской впадине, подстилаются алеозойским складчатым комплексом.

В последние годы скважины, пройденные к северу и северо-востоку от т. Тюратам, вскрыли сильно дислоцированные красные и темно-серые ар- иллиты и песчаники. Любезно предоставленный П. Я. Авровым материал сследовался. По керну, извлеченному из этих скважин, можно было на- людать углы падения этих пород от 30 до 75°. Фауны и макрофлоры в них стречено не было, что затрудняло определение их возраста. По внешним ризнакам А. Л. Яншин (1954 г.) относил этот комплекс пород к кембрию, опуская, как самый молодой, силурийский их возраст *. Это выдвига- ось им в качестве основного аргумента, доказывающего бесперспектив- ость низовий р. Сыр-Дарьи в смысле нефтеносности. Другие исследова- ели сопоставляли этот комплекс по внешним признакам с джезказганской витой, которая относится к пермо-карбону. Е. И. Мураховская (ИГН АН КазССР) из образцов этих пород выделила спорово-пыльцевой комплекс, арактерный для верхнетриасовых отложений.

По литологическому составу вскрытую скважинами толщу триасовых ород можно подразделить на три свиты (снизу): подтакырсайскую, такыр- айскую и надтакырсайскую. Ниже приводится краткая литологическая арактеристика этих свит.

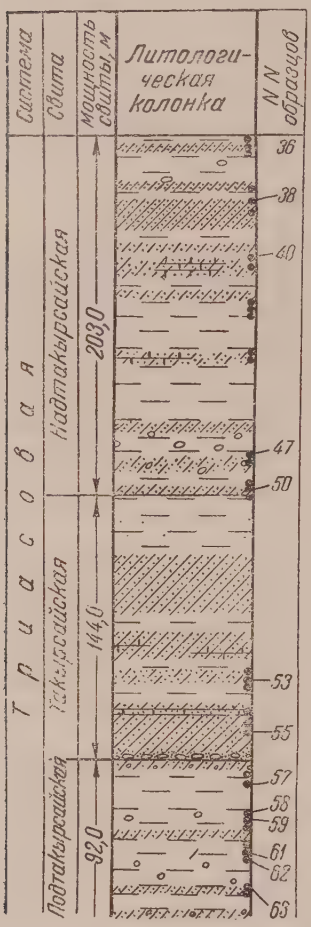
Подтакырсайская свита сложена (снизу):

1. Песчаник темно-серый, красноватый, очень крепкий, в верхней части прослоями серовато-красного аргиллита, с включением мелкой кварце- ой гальки и вкрапленниками пирита . . . . . 3,0 м
2. Аргиллит серовато-красный, крепкий, с прослоями песчаника серого, елкозернистого мощностью 1,5 и 3,0 м . . . . . 11,0 м

* После устного сообщения автора статьи (1954 г.) о полученных результатах спорово- ыльцевого анализа, А. Л. Яншин (5) допускал их нижнетриасовый возраст.

3. Песчаник красновато-серый, очень плотный, среднезернистый, известковистый, с прожилками кальцита, местами тонкослоистый . . . 3,0 м

4. Аргиллит серовато-красный с прожилками кальцита и включением мелких плохо окатанных обломков известняка, мелкой кварцевой гальки и кристаллов кальцита . . . . . 25,0 м



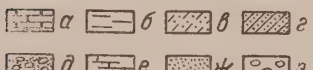


Рис. 1. Литолого-стратиграфический разрез верхнетриасовых отложений восточного Приаралья, вскрытый скважинами: *а* — известняк; *б* — аргиллит; *в* — алевролит; *г* — песчаник; *д* — конгломерат; *е* — известковистость; *ж* — песчанистость; *з* — включения гальки

5. Аргиллит темно-серый, почти черный, крепкий в нижней половине с включением кремнистой гальки и с прослоями черного и красного песчаника. В средней части аргиллит серовато-красный, мощностью 6,0 м. Вверху аргиллит слабоизвестковистый с прожилками кальцита . . . . . 38,0 м

6. Аргиллит серовато-красный , плотный известковистый с включением кварцевой гальки. В верхней половине и внизу содержит прослой песчаника темно-серого, крепкого, известковистого по трещинам с мелкими кристаллами пирита. В кровле залегает конгломерат из разноцветной кварцевой гальки, а в подошве аргиллит серовато-красный 12,0 м

Вскрытая скважиной мощность подтакырсайской свиты равна 92 м, В поднятых образцах керна наблюдаются углы падения от 35 до 65°.

Из четырех образцов этих пород был выделен спорово-пыльцевой комплекс, содержащий: Pinaceae, Cycadaceae, Pterina obliqua f. tybica Mal., Rubinella media var. parvitulerculata Mal., Osmundaceae, Coniopteris, Zonotriletes и другие, пока неопределимые формы.

Такырсайская свита сложена (снизу):

1. Песчаник темно-серого цвета, вверху почти черный, мелкозернистый, плотный, известковистый с прослоями светло-серого, ниже серовато-красного цвета, по трещинам с мелкими кристаллами пирита. Вверху содержит прожилки кальцита и прослои известняка мощностью 2,0 м . . . . . 29,0 м

2. Алевролит темно-серого цвета, вверху почти черный, плотный, сильно известковистый с мелкими вкраплениями и прожилками кальцита бледно-розового и белого цвета. Внизу алевролит красновато-серого цвета, крепкий, известковистый . . . . 19,0 м

3. Песчаник темно-серого, почти черного цвета, мелкозернистый, с прожилками кальцита, сильно известковистый, с прослоями красновато-серого аргиллита, плотного, с зеркалами скольжения . . . . . 35,0 м

4. Песчаник серовато-красный с прослоями темно-серого с включением мелкой кварцевой, хорошо окатанной гальки, известковистый, очень крепкий . . . . . 29,0 м

5. Аргиллит серовато-красный, известковистый, крепкий . . . 9,0 м

6. Аргиллит песчанистый, красный, вверху красновато-серый, крепкий сильно ожелезненный . . . . . 23,0 м

Мощность описанного разреза этой свиты по скважине равна 144,0 м.

Углы падения пород по образцам керна меняются от 33 до 45°. Из двух образцов алевролита Е. И. Мураховской был выделен следующий комплекс: Paleoconiferales, Pinaceae, Pterina obliqua f. typica Mal., Cycadaceae, Osmundaceae, Coniopteris, Laricina Naum., Psophosphaera Naum. и другие, пока неопределимые формы.

Надтакырсайская свита сложена чередованием песчаников и алевролитов с прослоями аргиллитов преимущественно красной и серовато-красной окраски (снизу):

1. Песчаник красновато-серый, тонкослоистый, крепкий, известковистый . . . . . 6,0 м

2. Аргиллит красный, крепкий с прослоем песчаника темно-красного, тонкозернистого, известковистого . . . . . 7,0 м

3. Алевролит красновато-серый, крепкий, известковистый с прожилками кальцита, с прослоями мелкозернистого конгломератовидного песчаника. У забоя тонкослоистый песчаник красновато-серого цвета, лиловатый, конгломератовидный . . . . . 13,0 м

Таблица 1

№ образов *	Голосеменные				Плауновые	Папоротниковые						Споры, определенные по искусственной классификации						Итого
	Coniferales (хвойные)			саговые		сем. Selaginella		сем. Osmundaceae			сем. Cyatheaceae							
	Paleoconiferales (древние хвойные)	Pinaceae (сем. сосновых)	Podocarpaceae (сем. ногоплодниковых)	Cycadaceae (сем. саговниковых)	Lycopodiaceae (сем. плауновых)	Pterina obliqua f. typica Mal.	До вида не определены (семянки)	Sphaerina spinellata Mal.	Rubinella media var. parvituberculata Mal.	Споры из сем. Osmundaceae, до вида не определены	Coniopteris sp.	Triquetrella cardiformis Mal.	Cyclina glabra Mal.	Zonotriletes A	Laricina Naum.	Psophosphaera Naum.	Неопределенные формы	
36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	15
38	—	3	—	1	1	—	—	1	—	10	5	—	—	—	1	—	—	22
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	1	—	—	—	—	2
47	6	—	1	—	—	—	—	—	—	9	—	21	—	—	5	5	—	47
50	—	2	—	—	—	—	—	—	—	9	5	5	—	—	2	—	4	27
53	1	1	—	—	—	1	—	—	—	—	3	—	—	—	5	3	—	14
55	—	2	—	2	—	—	1	—	—	3	—	—	—	—	5	3	2	18
57	—	—	—	1	—	1	—	—	8	11	5	—	—	1	—	—	3	30
58	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—	—	6
59	Встречены только обрывки тканей хвойных																	
61	Встречены обрывки тканей высших наземных растений																	
62	—	1	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3
63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—	3	—	—	4

* Соответствуют номерам на рис. 1.

4. Аргиллит серовато-красный очень крепкий, с прослоями темно-бурого тонкозернистого известковистого песчаника с включением мелкой окатанной кварцевой гальки . . . . . 7,0 м

5. Песчаник серовато-красный, тонкозернистый, крепкий, известковистый с включением мелкой окатанной кварцевой гальки . . . . 9,0 м

6. Аргиллит серовато-красный, известковистый, очень крепкий, с прожилками кальцита . . . . . 31,0 м

7. Алевролит серовато-красный с пятнами темно-серого, слабо известковистый, крепкий, с прожилками кальцита. Ближе к забою наблюдаются зеркала скольжения . . . . . 8,0 м

8. Аргиллит серовато-красный с прослоями песчаника и тонкими вертикальными прожилками и включениями кальцита, крепкий, известковистый . . . . . 31,0 м

9. Аргиллит серовато-красный с прослоями песчаника, крепкий с прожилками кальцита, известковистый . . . . . 9,0 м

10. Алевролит серовато-красный, лиловатый, крепкий, с прожилками кальцита, известковистый . . . . . 13,0 м

11. Песчаник красновато-серый мелкозернистый, крепкий, цемент известковистый. Внизу с подчиненными прослоями аргиллита того же цвета и с прожилками кальцита . . . . . 30,0 м

12. Аргиллит красный, крепкий, сильно известковистый с прослоями буровато-серого тонкозернистого песчаника . . . . . 3,0 м

13. Аргиллит красный, крепкий, с включением мелкой гальки. Вверху с зеркалами скольжения и обильными прожилками кальцита. Местами наблюдаются тонкие прослои светло-серого тонкозернистого песчаника с заметным падением под углом 35° . . . . . 32,0 м

Мощность описанных пород равна 203,0 м. Угол падения пород, замеренный по образцам керна, равен 35°.

Из пяти образцов этой свиты выделен следующий спорово-пыльцевой комплекс: Paleoconiferales, Pinaceae, Podocarpaceae, Cycadaceae, Lycopodiaceae, Sphaerina spinellata Mal., Osmundaceae, Coniopteris sp., Triquetrella cardiformis Mal., Cyclina glabra Mal., Laricina Naum., Psophosphaera Naum., а также остатки хвойной растительной ткани и другие, пока неопределимые формы пыльцевых зерен.

Из 28 образцов, подвергавшихся спорово-пыльцевому анализу, только 11 содержали немногочисленные зерна спор и пыльцы (см. рис. 1 и табл. 1) и обрывки растительной ткани. Максимальное количество и большое разнообразие форм приходится на надтакырсайскую свиту. Из голосеменных растений отмечено наличие пыльцы хвойных сем. Pinaceae и Podocarpaceae с преобладанием форм древнего облика.

Наибольшее количество встречено спор папоротников из семейства Osmundaceae, которые встречены В. С. Малявкиной (1949) в верхнем триасе и нижней юре юго-западного Казахстана и спор Coniopteris и Laricina Naum. Другие споры: Triquetrella cardiformis, Cyclina glabra Mal. были установлены ею же (1953) в Эмбенской обл. на р. Убоган и в восточном Приуралье в верхнетриасовых континентальных отложениях.

Таким образом, спорово-пыльцевой комплекс описываемых пород вполне определяет нижнемезозойский, точнее, верхнетриасовый возраст описанных пород.

При микроскопическом исследовании образцов в некоторых шлифах были встречены единичные зерна глауконита. Последнее указывает на морское происхождение осадочной толщи триаса в низовьях р. Сыр-Дарьи.

Все сказанное позволяет утверждать, что геосинклинальный режим в пределах восточного Приаралья просуществовал до конца триаса, а формирование структур этих районов закончилось древнекиммерийской фазой складчатости. Установление платформенного режима на этой территории нужно связывать с юрским периодом.

Поскольку формирование основных структур складчатого фундамента восточного Приаралья закончилось в конце триаса, то вполне вероятно, что в крупных прогибах морской и лагунный режим мог существовать и в юрском периоде, как унаследованный от триасового. Это обстоятельство расширяет перспективы нефтеносности восточного Приаралья и делает перспективными здесь для поисков нефти и такие горизонты, как нижний мезозой.

Институт геологических наук
Академии наук КазССР

Поступило
5 III 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Л. Бубличенко, Бюлл. МОИП, отд. геол., **26**, в. 5 (1951). [2] М. Е. Воскобойников, ДАН, **90**, № 5 (1953). [3] Б. А. Петрушевский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 4 (1939). [4] В. И. Самодуров, Бюлл. МОИП, отд. геол., **30**, в. 3 (1955). [5] А. Л. Яншин, Бюлл. МОИП, отд. геол., **30**, в. 5 (1955).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕОЛОГИЯ

В. С. ЖУРАВЛЕВ

МОРСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ ВЕРХНЕГО АЛЬБА В ПРИКАСПИЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЕ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 15 X 1956)

Первая находка морской фауны верхнего альба в Прикаспийской синеизе относится к 1941 г., когда М. Ф. Осипов в керне крелиусной скважины, обуренной на куполе Искине в 180 м от подошвы нерасчлененных отложей альба и сеномана, обнаружил аммонита, первоначально определенного П. Никитиной как Anahoplites pseudoaurites Sem. (2). Позднее (3) этот монит был переопределен как Anahoplites rossicus var. biplicata Sinz. П. Никитина указывала, что в подошве верхнего альба западной части омыслового района Южной Эмбы залегают пески с подчиненными им нзообразными пластами песчаников, содержащих фауну Nuculana ma- e d'Orb., Nucula aff. pectinata Sow., Thetironia sp., Natica laevigata Orb. и другие альбские формы. В тех же базальных слоях, по ее данным, куполе Иман-Кара был найден аммонит, имеющий сходство с Anahop- es rossicus var. biplicata Sinz.

Основываясь на этих находках, принято было думать, что верхний альб морской фации развит только в западной части промыслового района жной Эмбы, ограничиваясь с востока примерно 54 меридианом (1). Счии, что восточнее, вплоть до южных отрогов Урала, распространены исочительно континентальные отложения верхнего альба. Действительно, реднем течении р. Эмбы, в бассейнах рр. Сагиза, Уила и Б. Хобды, над унистически охарактеризованными песчано-глинистыми осадками нижго и среднего альба, сложенными чередованием слоев морского и континтального происхождения, прослеживаются континентальные осадки хнего альба. Они повсеместно представлены относительно однообразной щей светло-серых кварцево-слюдистых мелко- и среднезернистых, гда грубозернистых песков, обычно окрашенных окислами железа в желатые тона различной интенсивности и оттенков. Ожелезнение подчервает круто падающую косую слоистость аллювиального или поточного а, обычную для этих песков. В их подошве почти повсеместно залегает елезненный жеодистый разнозернистый песчаник с гравием и галькой арца и кремня, реже — с крупной галькой глин. Выше, среди песков слеживаются прослои такого же песчаника, линзовидные прослои се- песчанистых глин и глиняных катунов. В песках нередко содержатся кие округлые единичные и гроздьевидные конкреции песчаника, а таккрупные (до 3—4 м в поперечнике) округлые эпигенетические конкреции козернистого песчаника или алевролита.

Этот литологический облик осадки верхнего альба в общих чертах соняют вплоть до западной окраины Мугоджар, где пески верхнего альба тами залегают непосредственно на палеозое. На всем обширном пространстве от куполов Искине и Иман-Кара до Мугоджар лишь в трех разах — по р. Жарык (бассейн р. Илек), р. Кульденен-Темир (бассейн р. Те-) и р. Кокпекты (бассейн р. Эмбы) в прослоях глин, залегающих среди х песков, встречаются отпечатки ископаемой флоры, представленной

преимущественно отпечатками листьев платанов (1). Во всех остальны разрезах эти пески оставались немыми, и возраст их определялся условн по стратиграфическому положению и выдержанному литологическому об лику.

В 1953 г. при маршрутных исследованиях в северо-восточной части При каспийской синеклизы, в двух разрезах среди песков верхнего альба на удалось обнаружить прослои песчаников с морской фауной. Так, по пра вобережью левого притока р. Б. Хобда — р. Ишкырган, на одноименно

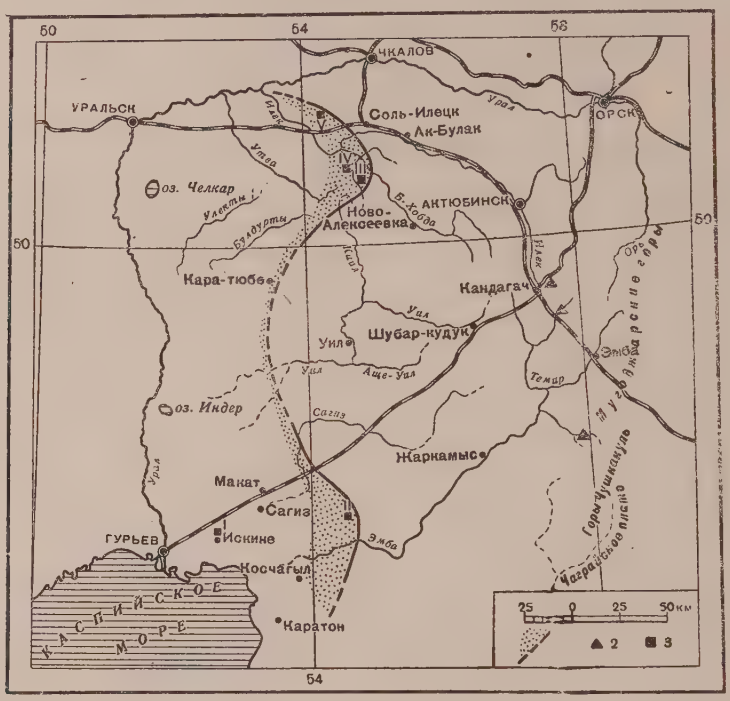


Рис. 1. Палеогеографическая схема верхнего альба восточной части Прикаспийской синеклизы: *1* — восточная граница распространения прослоев с морской фауной в отложениях верхнего альба; *2*— пункты находок ископаемой флоры; *3* — пункты находок фауны: *I*—купол Искине; *II* — купол Иман-Кара; *III* — купол Ишкырган; *IV* — купол Троицкий; *V* — р. Б. Песчанка

куполе, в 3 м от подошвы типичных для верхнего альба косослоистых ожелезненных песков, прослеживается невыдержанный по простиранию го ризонт караваев бурого железистого разнозернистого песчаника с отпечат ками обломков древесины и неопределимыми отпечатками створок и ядер пелеципод и гастропод. В 4 метрах от подошвы верхнего альба проходит выдержанный по простиранию горизонт ожелезненных разнозернистых пе сков с мелкими, плоскими или округлыми, концентрически скорлуповатыми иногда пустотелыми железистыми конкрециями размером до 4 см в попереч нике. В этом горизонте встречаются небольшие (до 30 см в поперечнике и 4 см по мощности) караваи бурого железистого разнозернистого песчаника с отпечатками древесины и раковин моллюсков Cardium cf. raulini d'Orb. Exogyra arduennensis d'Orb., Pectunculus sp., Dosiniopsis sp., Cardium sp. и Lima sp. По заключению Т. А. Мордвилко, определявшей фауну, две пер вые из названных форм известны из альба Западной Европы, причем Car dium raulini d'Orb. встречается также в среднем и верхнем альбе Мангы шлака, а Exogyra arduennensis d'Orb. — в верхнем альбе Мангышлака. Стратиграфическое положение горизонтов с фауной не оставляет сомнения

еобходимости отнесения заключающих их песков к верхнему альбу. Эти
ки залегают на размытой поверхности белых песков, обычно прослежи-
ющихся в кровле песчано-глинистых отложений среднего альба, и пере-
ываются фосфоритовым горизонтом основания сеномана.

Верхняя часть песков верхнего альба, в этом разрезе слабо обнаженная,
ее четко видна по левобережью открывающейся слева в р. Ишкырган
ки Ак-булак. В сводовой части купола Троицкий, под кварцево-глауко-
овыми песками основания сеномана, залегают серовато-желтые интен-
но ожелезненные среднезернистые пески верхнего альба. В отдельных
слоях и линзах они грубозернистые, косослоистые и содержат гальку
н, покрытую железистой корочкой. Гальки эти зачастую цементируются
елезистые конгломераты, переходящие по простиранию в ожелезненные
ые песчаники. В последних, в 0,8 м от кровли песков изредка встречают-
ближе неопределимые отпечатки пелеципод, а в конгломератах был най-
спинной позвонок Murenosaurus sp. nov., по форме промежуточного
жду типичными муренозаврами верхов верхней юры и эласмозаврами
хов верхнего мела (определение В. В. Меннера).

Отметим, что к северу от р. Ишкырган — по правобережью р. Илек,
ассейне р. Б. Песчанки обычные для верхнего альба косослоистые желе-
тые пески замещаются тонкими слюдистыми песками и алевритами с го-
онтальными прослоями серых глин и железистых песчаников, в которых
речаются отпечатки неопределимых иноцерамов (устное сообщение
Л. Яншина).

Таким образом, не остается сомнений в том, что в верхнеальбское время
ы нижнемелового моря в пределах Прикаспийской синеклизы распро-
анялись далеко на север и, эпизодически, на отдельных участках подтап-
али аллювиальные равнины, простиравшиеся вплоть до южных отро-
Урала.

Появление маломощных прослоев с морской фауной среди континенталь-
осадков верхнего альба не сопровождается увеличением мощности по-
дних. Напротив, если в разрезах по р. Ишкырган и балке Ак-булак их
дность не превышает 15—20 м, то южнее, в разрезах восточной части
бдинского регионального максимума силы тяжести («Хобдинского вала»),
отложения верхнего альба представлены песками исключительно кон-
ентального происхождения, она достигает 80 м (на куполах Чингис и
тас). Наиболее вероятно, что конфигурация береговой линии в моменты
симального проникновения к востоку верхнеальбского моря зависела
столько от тектонических движений тех или иных площадей, сколько от
рости накопления в различных участках терригенного материала, в
гности от интенсивности роста речных дельт.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
13 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. А. Вахрамеев, Регион. стратиграфия СССР, 1, 1952. [2] С. Н. Колты
, ДАН, **78**, № 5 (1951). [3] Ю. П. Никитина, Бюлл. МОИП, отд. геол., **23**, в. 2
3).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГИДРОГЕОЛОГИ

Г. А. ГОНСОВСКАЯ

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФУМАРОЛЬНЫХ ТЕРМ ЮЖНОЙ КАМЧАТКИ

(*Представлено академиком А. Г. Бетехтиным 26 IX 1956*)

Из всех типов термальных вод, встречающихся в одной из наиболее а тивных южных вулканических областей Камчатского полуострова, наибол ший интерес представляют фумарольные источники, расположенные в рай не вулканов Мутновского, Кошелевского и Ильинского.

Проведенные автором (1) гидрогеологические исследования в районе эт действующих вулканов южной Камчатки показали, что изменение химич ского состава и температуры фумарольных терм происходит с определенно закономерностью и связано с различной степенью активности вулканич ских процессов, затухающих по мере удаления от основного магматическо очага. Можно выделить зону активной вулканической деятельности и зо ее затухания. Наиболее отчетливо эта зональность наблюдалась на приме Кошелевской группы фумарольных терм.

В соответствии с указанной зональностью вулканических проявлений химическим составом термальных вод мы выделяем нижеследующие д группы терм: 1) сернисто-углекислые сульфатные термы в зоне проявлени активных вулканических процессов; 2) углекислые термы сложного соста в зоне затухания вулканических процессов.

Представителями первой группы являются Северо-Кошелевские, Южн Кошелевские, Южно-Паужетские, Верхне-Мутновские и термы вулка Дикий Гребень. Все они располагаются в юго-восточной вулканическо зоне Южной Камчатки, на склонах и кратерах действующих и затухающи вулканов (Мутновский, Дикий Гребень и Кошелевский).

Находясь в зоне влияния активных вулканических процессов, эти терм отличаются от представителей второй группы более высокой температуро (95—100°) и соответственно наиболее мощными паровыми выделениям Высокой температуре данной группы соответствует во всех термальны источниках высокое содержание борной кислоты, составляющее в средне 80—100 мг/л.

Повышенное содержание таких специфических компонентов, как а моний и фтор, связано, очевидно, не только с выделяющимися в насто щее время из активных вулканических очагов возгонами, но также и с в щелачиванием окружающих источники вулканогенных и осадочных поро обогащающихся этими компонентами в течение длительного геологическо периода вулканической деятельности.

В результате интенсивно протекающих процессов окисления вулканич ских газов на участках их выделения из остывающих магматических оч гов, а также в процессе взаимодействия образующихся при растворени этих газов в поверхностных и грунтовых потоках кислых термальных во с окружающими породами и происходит образование сульфатно-аммонийно натриевого состава наиболее типичных представителей фумарольных терм

Среди других фумарольных источников Камчатки наиболее близким по составу к описываемым группам являются Узонские и Верхне-Семячи

ие термы, гидрогеологические особенности формирования которых иссле-ваны В. В. Ивановым (2).

В результате полевого обследования было установлено, что максималь-е содержание различных химических компонентов наблюдается в бессточ-х водоемах, где наряду с непрерывным растворением сернисто-углекис-х газов происходит также активное выщелачивание солевых отложений ом и окружающих горных пород.

По данным исследований С. И. Набоко (3) большинство оснований из род (Na, K и частично Ca) переводится кислыми термами в раствор. На сте остается только кремний, обра-ющий скопление опала. Активную ль в разложении пород играет об-зующаяся при этом серная кислота. ысокая концентрация ионов водоро-обусловливает резко-кислую реак-ю воды, понижающуюся до значе-я pH 1,7—4,5. Содержание водоро-в сернисто-углекислых термах ко-блется в пределах 2,0—11,5%.

Повышенное содержание железа, юминия и других металлов в суль-тных термах является обычным для нного типа вод и объясняется уве-чением растворимости сульфидных единений этих элементов в кислой еде. Преобладание сульфатов в сос-ве анионов фумарольных терм объяс-ется окислением сернистых газов, гко растворяющихся в термальных дах, а также выщелачиванием окис-в серы из лавовых пород. Незначи-льное содержание гидрокарбонатов солевом составе фумарольных терм жно объяснить нарушением физи-химического равновесия между CO_3 и HCO_3' в результате повыше-я температуры и связанного с этим нижением растворимости углекис-го газа, выделяющегося из термаль-х вод в атмосферу. Остающиеся в створе ионы HCO_3' образуют с $Ca^{\cdot\cdot}$ удно растворимое соединение $CaCO_3$, выпадающее в осадок. Наиболее сокое содержание свободной углекислоты в условиях высоких температур ,0—100°), составляющее 250 мг/л, было обнаружено в Южно-Кошелев-их источниках.

Таблица 1

Сравнительная характеристика основных химических компонентов фумарольных терм Южной Камчатки (содержание основных компонентов в мг/л)

Компоненты	1-я группа сульфатных терм	2-я группа терм сложного состава
Cl'	до 28,0	до 290
SO_4''	„ 1969	„ 470
HCO_3'	„ 37,0	„ 460
H_2SiO_3	„ 302,0	„ 157
Своб. CO_2	„ 250	„ 700
Своб. H_2S	„ 11,0	„ 10,0
Микро-элементы		
$NH_4^{\cdot}$	„ 102	„ 10,0
$H^{\cdot}$	„ 20,0	—
$B^{\cdot}$	„ 74,0	„ 40,8
$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$	„ 109	—
$Al^{\cdot\cdot\cdot}$	„ 14,6	—
Характерные отношения (средние)		
$\frac{Na}{Cl}$	22	2,5
$\frac{Cl}{SO_4}$	0,02	0,6
$\frac{Cl}{B}$	0,3	7,2

Основными представителями второй группы термальных вод сложного става являются Сивучинские и Тепловские источники.

Формирование этой группы терм связано с водами более глубокой цирку-ции и протекает в условиях менее активных вулканических процессов, ияние которых постепенно ослабевает с удалением от неостывших маг-тических очагов. В соответствии с этим воды этой группы имеют более низ-ю температуру (до 62°) и отличаются более высоким содержанием угле-слоты (до 700 мг/л). Приведенная таблица 1 позволяет сопоставить держание основных специфических компонентов в описанных группах марольных терм.

Анализ основных особенностей формирования фумарольных терм Юж-й Камчатки позволяет сделать вывод, что, несмотря на тесную связь

с неостывшими магматическими очагами главное питание они получают з
счет выпадения атмосферных осадков и грунтовых вод более глубокой цир
куляции. Поднимающиеся к поверхности магматические пары и раствор
составляют незначительную долю по сравнению с общим объемом инфиль
рационных вод атмосферного происхождения. Об этом свидетельству
преобладание воздушных газов в пробах фумарольных возгонов, по сравн
нию с другими газовыми компонентами вулканического происхождения

Львовский государственный университет
им. Ивана Франко

Поступило
4 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. А. Гонсовская, Бюлл. Вулканол. ст., № 2 (1954). [2] В. В. Иванов
Вопросы изучения курортных ресурсов, М., 1956. [3] С. И. Набоко, Бюлл. Вулканол
ст. № 22 (1954).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

А. Е. СВЯТЛОВСКИЙ

О ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАМЧАТКИ

(Представлено академиком С. И. Мироновым 4 IX 1956)

Как известно, крупные артезианские бассейны горячих вод с большим ором образуются в передовых прогибах на границах альпийских горных ан и платформ, а также в межгорных впадинах и структурных прогибах онах новейшей вулканической деятельности. Получены большие дебиты ячих вод из буровых скважин в предгорьях Кавказа, Копетдага, в Кол-ской низменности, в Ферганской котловине, в структурных впадинах мении и в других районах (1).

Отсутствие естественных горячих источников еще не свидетельствует об утствии в недрах бассейнов горячих вод. Закрытые артезианские бассейны чно выявляются только путем глубокого разведочного бурения. Естественные выходы горячих вод только в известной степени отражают темпе-уру и химический состав глубокозалегающих горячих вод, так как про-одит потеря тепла при миграции горячих вод по трещинам и наблюдается ическая зональность подземных вод, связанная с различными причина-Воды горячих ключей характеризуют краевые и верхние части арте-нских бассейнов и трещинных водонапорных систем.

В областях современного вулканизма обычная вертикальная химическая емпературная зональность подземных вод нарушается и приобретает еобразные черты под влиянием вулканических очагов.

На Камчатке разведочного бурения на горячие воды еще не производи-ь, и поэтому предположения о существовании здесь артезианских бас-нов горячих вод могут быть высказаны на основании анализа геологи-кой структуры, геоморфологии, гидрогеологии и вулканизма полу-рова.

А. М. Овчинников в 1947 г. писал, что на Камчатке имеются водонапор-е системы, занимающие большие территории (2). Широкое проявление ременного вулканизма и естественных выходов высоконагретых мине-ьных вод вселяет уверенность, что артезианские воды Камчатки обла-от более высокими температурами, чем артезианские воды других райо-, где нет действующих вулканов.

Рассмотрим основные черты геологической структуры Камчатки, харак-изующейся совпадением крупных молодых структурных прогибов с впади-ми рельефа.

Камчатский полуостров по своему тектоническому положению относится льпийской складчатой системе, юго-восточная часть которой принадле-т современной геосинклинальной области, испытывающей интенсивные ференциальные тектонические движения и вулканизм. На Камчатке от-ти сохранились выраженные в рельефе древние прогибы, выполненные дными складчатыми третичными отложениями (Западно-Камчатская низ-ность), а в начале четвертичного времени образовались крупные струк-ные прогибы, заполненные мощными толщами четвертичных терриген-х и вулканогенных отложений и расчлененные локальными вулканиче-

скими поднятиями на ряд более мелких структурных впадин. К числ крупных прогибов относятся Центрально-Камчатская депрессия, восточно камчатская и южнокамчатская зоны действующих вулканов. Две последни зоны структурных прогибов были расчленены в процессе поднятия вулка нических сооружений на небольшие прогибы (Паужетский, Озерновский Карымчинский, Налычевский, Начикинский, Паратунский, Авачинский Жупановский, Чажма-Сторож ский и др.). Структурно-лито логические, геоморфологически и гидрогеологические данны позволяют рассматривать ука занные прогибы и впадины ка возможные артезианские бассей ны горячих вод (рис. 1).

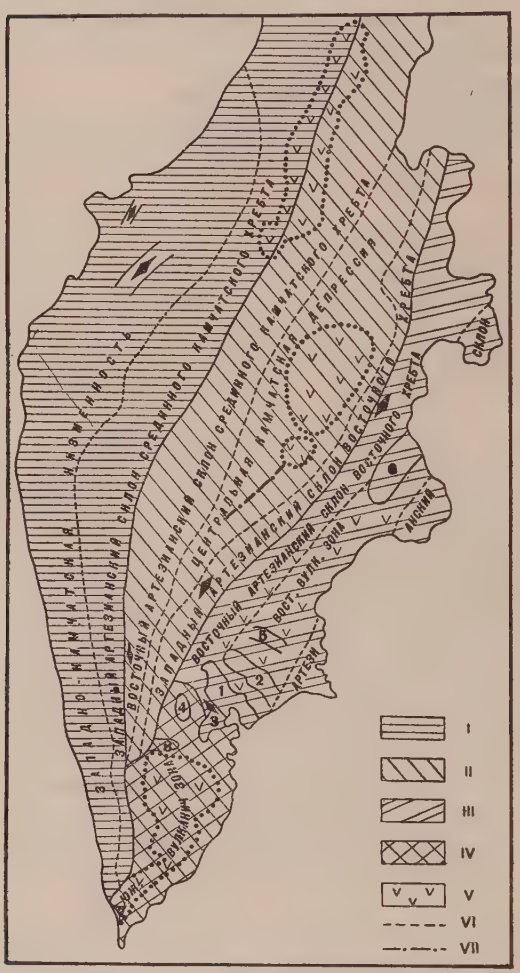


Рис. 1. *I* — Западный артезианский бассейн; *II*—Центральный артезианский бассейн: *III* — Восточный артезианский бассейн: *1*—Авачинский прогиб, *2* — Налачевская котловина, *3*— Паратунский прогиб, *4* — Начикинская котловина, *5* — Жупановский прогиб, *6* — Чажма-сторожский прогиб; *IV* — Южный артезианский бассейн: *7* — Паужетский прогиб, *8*—Карымчинский прогиб; *V* — районы голоценовых региональных вулканических излияний; *VI* — тектонические разломы; *VII* — ось структурного поднятия в Центральной Камчатской депрессии

Областями современных ин фильтрационных зон артезиан ских бассейнов являются сильно дренированные горные хребты Камчатки, достигающие высоты 2 км, и вулканические сооруже ния, имеющие высоту почти до 5 км, что обеспечивает сильные напоры в гидравлических систе мах. Водоносными отложениями артезианских бассейнов являют ся мощные синклинальные тол щи третичных терригенных и вулканогенных отложений, пе рекрытые четвертичными осадо чными и вулканогенными поро дами. В ряде случаев в каче стве водоупоров для наложен ных артезианских бассейнов можно рассматривать дотретич ные метаморфические породы фундамента прогибов, являю щиеся в горных поднятиях зона ми инфильтрации и напора тре щинных вод. Значительные час ти артезианских бассейнов яв ляются закрытыми, и области разгрузки приурочены к краевым разломам, проходящим вдоль склонов горных хребтов и вулканических сооружений, окаймляющих депрессии. В этих зонах выходят многочисленные горячие ключи Камчатки ([3]).

По аналогии с межгорными прогибами и предгорными впадинами Кавказа и Закавказья, где воды с температурой 150—200° образуют артезианские бассейны на глубинах, доступных для бурения ([1]), мы полагаем, что в крупных структурных прогибах Камчатки возможно получить горячие воды с глубины 1500—2000 м. Геотермические ступени в районах современного вулканизма снижаются в зонах термальных площадей, и на первых

нтках метров температура часто достигает более 100°; с глубиной гео-
мическая ступень постепенно увеличивается.

Тепловые поля Камчатки формируются в зависимости от распределения
вертичных и современных вулканов. Изотермические поверхности имеют
высшие отметки в районе вулканических массивов и погружаются на

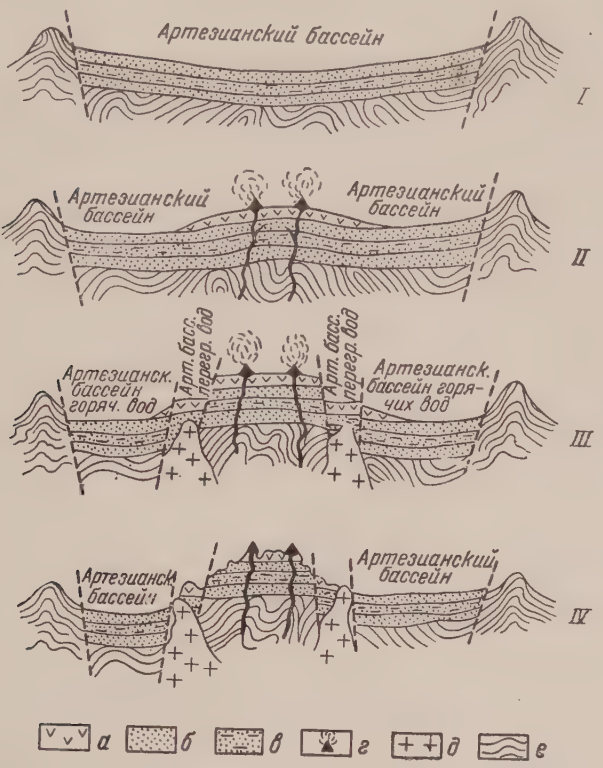


Рис. 2. Схема формирования артезианских бассейнов горячих и перегретых вод в вулканической области. *I* — Наложенный артезианский бассейн в межгорной депрессии, ограниченной разломами от горных хребтов; *II* — вулканическая деятельность и тектоническое поднятие оттесняют подземные воды к краям депрессии, расчленяя артезианский бассейн; *III*—неравномерные тектонические движения по окраинам вулканического массива образуют у его склонов несколько небольших высокотемпературных артезианских бассейнов. Вулканические тела, залегающие в основании приподнятых глыб, являются источниками тепла; *IV* — после прекращения вулканической деятельности артезианские бассейны постепенно охлаждаются. Эрозия обнажила экструзии, ранее залегавшие в основании бассейнов перегретых вод: *а* — лавы и туфы, *б* — пески и песчаники, *в* — глины и глинистые сланцы, *г* — вулканы, *д* — экструзии, *е* — древние складчатые толщи

бину в межвулканических впадинах. Образование вулканов сопровож
тся структурным поднятием и разломами, по которым горячие воды
ходят по периферии поднятий.

Крупнейшими артезианскими бассейнами горячих вод Камчатки яв-
ются:

1) Центрально-Камчатская депрессия и обрамляющие ее склоны Сре-
него и Восточного хребтов. Складчатые толщи, слагающие последние,
оклинально падают к депрессии.

аказ 1212

2) Западно-Камчатская низменность, с окаймляющими ее с восто склонами горноскладчатых и вулканических сооружений и расчлененна рядом структурных поднятий. Третичные породы, слагающие депресси имеют общее моноклинальное падение в сторону Охотского моря.

3) Восточно-Камчатская вулканическая зона. Здесь существует систем артезианских бассейнов, зонами инфильтрации и напора которых являют Тихоокеанские склоны восточной цепи горных сооружений и вулканич ские постройки.

4) Южно-Камчатская вулканическая зона, дифференцированная систему мелких сопряженных артезианских бассейнов тектоническими вулканическими поднятиями четвертичного времени.

Важное значение для народного хозяйства Камчатки представляе разведка закрытых бассейнов горячих вод в структурных впадинах вблиз важных населенных пунктов: Авачинский артезианский бассейн горячи вод (вблизи г. Петропавловска), Центрально-Камчатский (у с. Милькова по периферии Ключевского дола) и т. д. Практически представляетс вероятным обеспечить теплофикацию большинства населенных пункто полуострова путем вывода горячих вод с глубины 1,5—2 км.

Разведку на вулканический пар для энергетического использовани следует проводить на термальных площадях выходов перегретых вод бли вулканов (Паужетские, Жировские, Налачевские термы).

Большой интерес для изучения гидрогеологии, нефтеносности и газо носности Камчатки представляет глубокое бурение вдоль оси структурно поднятия, проходящего вдоль центральной камчатской депрессии (с. Мил ково, Кирганик, Долиновка). Глубокое бурение в перспективных района должно решить вопросы о возможности использования вулканической энер гии для нужд народного хозяйства и дать новые данные о геотермическом режиме районов четвертичного вулканизма СССР.

Поступило
4 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Тез. докл. на 1 Всесоюзн. совещ. по геотермическим исследованиям в СССР, 1956
[2] А. М. Овчинников, Минеральные воды, 1947. [3] Б. И. Пийп Горячи ключи Камчатки, 1937

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ПЕТРОГРАФИЯ

Г. И. НОСОВ

СОСТАВ НЕКАРБОНАТНОЙ ПРИМЕСИ В ПИСЧЕМ МЕЛУ Е ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОДЫ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 24 X 1956)

елый писчий мел Русской платформы достаточно хорошо изучен [1,2,5 9]. итературе, однако, не освещен с достаточной полнотой вещественный ав некарбонатной примеси в писчем мелу.

уронско-коньякская меловая толща правобережья Дона, детально ис-ованная нами в 5 пунктах между устьем р. Воронежа и г. Калачем Ста-радской обл., довольно однородна. Она сложена преимущественно ым писчим мелом, который по простиранию вниз по течению Дона ста-тся несколько глинистым и у хут. Акимовского в кровле коньяка пе-дит в мелоподобный мергель. В химическом отношении мел состоит)—99% из $CaCO_3$, магнезиальность его ничтожна (MgO до 0,4%), содер-ие R_2O_3 невелико (0,2—2,6%), наиболее существенна примесь кремнезе-0,4—6,2%), прочие соединения обнаруживаются в виде следов. Содер-ие SiO_2 и R_2O_3 связано с нерастворимым остатком и возрастает пропор-ально глинистости мела.

Из форменных компонентов основной карбонатной части мела обычно бладает порошковатый кальцит (до 59%), несколько меньшее значение от кокколитофориды (до 51%), второстепенное — раковины форамини-(до 22%), обломки призматического слоя иноцерамов (до 20%) и остат-рочих известковых организмов (до 3%). Вещественный состав мела, новленный путем подсчета по окулярной сетке в порошковых препа-х под микроскопом, приведен в табл. 1, а микрофотографии основной онатной части на рис. 1 и 2.

екарбонатная часть мела выделялась для исследования из навески не е 2 кг путем постепенной обработки ее раствором 2% HCl. Полученный этом нерастворимый остаток разделялся на фракции в дистиллирован-воде отмучиванием в больших цилиндрических сосудах. В некарбонат-примеси мела преобладает глинистая (пелитовая $< 0{,}01$ мм) фракция, вляющая от 90 до 97% нерастворимого остатка, остальная часть цели-состоит из алевритовой фракции; песчаная фракция практически от-вует. Возрастание количества нерастворимого остатка в меловой тол-низ по течению Дона происходит главным образом за счет увеличения ожания грубой пелитовой (0,01—0,001 мм) фракции.

ля некарбонатной алевритовой фракции мела характерными являются терригенных минералов гранато — роговообманково — эпидотовый лекс, а среди аутигенных минералов, ассоциация: морденит, глауко-опал, халцедон, пирит. Всего в алевритовой фракции при количествен-подсчете под микроскопом в иммерсионных препаратах нами было ружено 29 минералов: кварц, ортоклаз, микроклин, плагиоклаз, овит, биотит, глауконит, морденит, халцедон, опал, магнетит, ильме-пирит, лейкоксен, пироксен, роговая обманка, эпидот, цоизит, н, ставролит, циркон, рутил, турмалин, гранат, сфен, апатит, анатаз, ит, гидроокислы железа. Показательно постоянное обилие (око-%) в тяжелой фракции загрязненных и ожелезненных зерен, мине-ическую природу которых установить не удается, а также большое

Таблица 1

Вещественный состав мела туронско-коньякской толщи правобережья Дона (в процентах)

№ монолита	Район расположения разреза	Карбонатная часть							Некарбонатная часть							
			форменные компоненты						минеральные компоненты							
		$CaCO_3$	кокколито-форидии	фораминиферы и сферы	призмы инцерамов	прочие организмы	пористый кальцит	вторичный кальцит	нерастворимый остаток	кварц	полевые шпаты	опал и халцедон	глауконит	морденит	слюда	аксессорные	глинистые
Туронский мел																	
1	с. Сторожевое	98,32	38,0	1,0	2,0	1,5	54,0	2,0	0,68	0,11	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,48
3	с. Колодежное	98,71	31,0	7,0	3,0	1,0	56,0	1,0	0,88	0,14	0,06	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,58
5	с. Верхний Мамон	97,73	42,0	3,0	4,0	1,0	48,0	—	1,44	0,30	0,13	0,04	0,01	0,14	0,02	0,02	0,78
7	ст. Казанская	97,87	23,0	5,0	5,0	—	59,0	1,0	1,67	0,33	0,15	0,05	0,02	0,18	0,03	0,01	0,85
9	хут. Акимовский	96,57	51,0	9,5	1,0	1,0	33,0	1,0	2,91	0,73	0,25	0,12	0,03	0,45	0,06	0,03	0,19
	Среднее	97,24	33,0	5,0	3,0	1,0	50,0	1,0	1,52	0,34	0,12	0,05	0,12	0,17	0,03	0,02	0,77
Коньякский мел																	
2	с. Сторожевое	97,93	24,0	21,0	10,0	1,0	39,0	3,0	1,43	0,29	0,19	0,02	0,01	0,10	0,02	0,01	0,80
4	с. Колодежное	98,19	37,0	18,0	6,0	2,0	33,0	2,0	1,54	0,38	0,19	0,03	0,04	0,09	0,03	0,02	0,89
6	с. Верхний Мамон	96,28	30,0	22,0	7,0	2,0	34,0	1,5	3,06	1,16	0,50	0,03	0,06	0,37	0,07	0,04	0,96
8	ст. Казанская	93,1	36,0	19,0	10,0	3,0	22,0	4,0	6,13	1,82	0,48	0,15	0,08	0,71	0,19	0,08	2,62
10	хут. Акимовский	90,16	34,0	20,0	7,0	2,0	23,0	4,0	9,5	3,49	0,61	0,60	0,14	1,54	0,44	0,11	2,91
	Среднее	95,25	32,0	20,0	8,0	2,0	30,0	3,0	7,38	1,41	0,32	0,15	0,06	0,56	0,15	0,05	1,65

содержание (7—15%
рудных минералов. К
кого-либо отличия в м
нералогическом соста
некарбонатной алевр
товой фракции туро
ского и коньякского м
ла не наблюдается, ч
указывает на общнос
источников сноса п
формировании всей то
щи писчего мела.

Иммерсионные иссл
дования грубой фракц
(0,01—0,005 мм) глин
стого материала п
большом увеличени
микроскопа с монок
лярной насадкой (
1665 ×) показали, что о
состоит, главным обр
зом, из морденита с пр
месью кварца, полево
шпата, мусковита, гла
конита, опала, акцессо
ных и глинистых мин
ралов. Кристаллы мо
денита имеют вытянуту
призматическую форм
бесцветны, почти из
тропны, с показателе
преломления от 1,484
1,487. Из глинистых м
нералов в препарата
отчетливо фиксируют
изометричные листоч
гидрослюдистого (n
$\approx$1,605) и монтмори
лонитового ($n\approx1,54$
типа, а также псевдоге
сагональные пластин
каолинита ($n\approx1,56$
Содержание грубой фр
кции незначительно.

Более тонкая фракц
(0,005—0,001 мм) глин
стого материала
электронномикроскоп
ческим исследовани
состоит из изометричн
пластинок гидрослю
с довольно резки
очертаниями комко
тых агрегатов бейдел
та с размытыми ко
рамии псевдогекса
нальных табличек

Рис. 1. Порошковатый кальцит и кокколиты из туронского мела правобережья Дона. Микрофотография порошкового препарата. 300×

Рис. 2. Кокколиты из туронского мела правобережья Дона. Снимок в электронном микроскопе. 500 ×

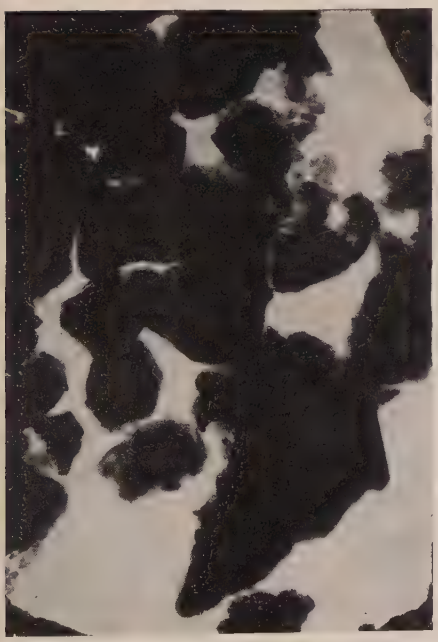


Рис. 3. Гидрослюда, каолинит в бейделлит некарбонатной примеси в писчем мелу правобережья Дона. Снимок фракции от 1 до 5 μ в электронном микроскопе. 5000×

Рис. 4. Бейделлит и гидрослюда некарбонатной примеси в писчем мелу правобережья Дона. Снимок фракции меньше 1 μ в электронном микроскопе. 20000 ×

ита с четкими контурами (рис. 3). В виде примеси попадаются ромбовид-
таблички с резкими ограничениями, по-видимому, морденита и зерна
гих минералов. Термограммы этой фракции, в основном, подтвердили
ные электронномикроскопического исследования.

Тонкодисперсная ($< 1\ \mu$) фракция глинистого материала исследовалась
и наиболее детально. Изучение ее при помощи абсорбции метиленового
убого с применением спектрофотометрии по методике Н. Е. Веденеевой
. А. Ратеева ([3]) показало, что кривые спектров абсорбции имеют основ-
максимум около 670 мμ, не смещающийся при добавлении катиона ка-
и дополнительные максимумы около 560—620 мμ, что указывает на
обладающий бейделлитовый состав с примесью гидрослюды. Эти данные
и подтверждены результатами иммерсионных исследований, произве-
ных по методике М. Ф. Викуловой ([4]) на ориентированных агрегатах,
готовленных из глинистой суспензии. Показатели преломления и дву-
ломление таких агрегатов, приближаясь к бейделлитовым, несколько
растают в образцах вниз по течению Дона (N'_g от 1,557 до 1,678; N'_p от
40 до 1,550; $N'_g - N'_p$ от 0,017 до 0,029), что указывает на увеличение
рослюдистой примеси в нерастворимом остатке мела.

Характер дифференциальных кривых нагревания и термических эффек-
, полученных для тонкодисперсной фракции, является достаточно ти-
ным для бейделлита. Эти кривые характеризуются тремя основными
отермическими (110—150°, 560—595°, 860—885°) и одной экзотермиче-
й (900—945°) остановками. Экзотермический пик, связанный с образо-
ием нового кристаллического вещества, выражен весьма четко, что
актерно для бейделлита. Примесь гидрослюды на кривых нагревания
ти не отражается, по-видимому, вследствие наложения эффектов.

Рентгенометрические исследования тонкодисперсной фракции показы-
от наличие линий, характеризующих ее бейделлитовый состав с при-
ью гидрослюды, каолинита и гидрогетита. Исследование этой фракции
электронным микроскопом (рис. 4) полностью подтвердило данные рент-
ометрии о ее преобладающем бейделлитовом (комковатые агрегаты с рас-
ывчатыми очертаниями) составе и показало, кроме того, возрастание гид-
людистой и каолинитовой примеси (изометричные и псевдогексагональ-
е пластинки с четкими контурами) по направлению вниз по течению Дона.

Химический состав тонкодисперсной фракции, определенный валовым
лизом, характеризуется довольно большим содержанием полуторных
слов (Al_2O_3 от 16,60 до 19,31%; Fe_2O_3 от 6,59 до 11,58%), что обуслов-
вает низкое молекулярное отношение связанной SiO_2 к R_2O_3 (от 2,6 до
. Однако истинная величина силикатного модуля после исключения из
O_3 гидрогетита, установленного рентгенометрически, будет несколько
ше и, видимо, приблизится к значению $R_2O_3 : SiO_2 = 1 : 3{,}5$. Молеку-
ное отношение связанной SiO_2 к Al_2O_5 колеблется от 3,4 до 3.8, что при-
жается к бейделлитовому. Содержание K_2O колеблется от 2,23 до 3,00%,
MgO от 2,37 до 2,89%. Содержание Na_2O невелико, в среднем 0,88%. Не-
лько повышенное содержание K_2O обусловлено примесью гидрослюды.
щелочных вытяжках установлено присутствие аморфного кремнезема
ала) около 10% и органического вещества в виде гумуса.

Таким образом, минералогический состав глинистого (пелитового
0,01 мм) материала некарбонатной части мела следующий: бейделлит
идрослюдой при постоянной примеси каолинита, морденита, опала,
уконита, гидрогетита, гумусового вещества и терригенных минералов.
и этом прослеживается увеличение содержания указанных примесей
елитовой фракции вниз по течению Дона, связанное с возрастанием
упности зерна в глинистом материале.

Сопоставление полученных характеристик вещественного состава и фи-
о-механических свойств мела туронско-коньякской толщи показало, что
находятся во взаимной зависимости

Удельный вес мела колеблется незначительно — от 2,68 до 2,73 и весьма близок к удельному весу кальцита (2,715), что определяется малым содержанием некарбонатной примеси. Изменение объемного веса скалета мела более существенно (от 1,27 до 1,80). Возрастание его связано с увеличением глинистости и одновременным уменьшением пористости мела, что наблюдается вполне отчетливо при сопоставлении данных как по вертикальному разрезу толщи, так и по простиранию — вниз по течению Дона. Таким образом, пористость мела находится в обратной зависимости от степени его глинистости и колеблется от 30 до 54%. Иными словами, чем более глинистый мел, тем плотность его, а следовательно и объемный вес, больше. Глинистая примесь цементирует и уплотняет мел, заполняя в нем микропоры.

Временное сопротивление мела сжатию в воздушно-сухом состоянии колеблется от 15 до 150 кГ/см² и находится в прямой зависимости от величины глинистости. Однако эта зависимость нарушается при водонасыщении мела, при котором его прочность резко падает (в 2—3 раза), особенно в глинистых разностях. Сила сцепления воздушно-сухого мела лежит в пределах от 3 до 26 кГ/см и находится в такой же зависимости от глинистости, как и сопротивление сжатию. Морозостойкость мела незначительна (выдерживает от 5 до 20 циклов замораживания) и снижается с увеличением глинистости.

Отмеченные зависимости наглядно представлены в табл. 2, где приведены данные по типичным образцам шести опорных разрезов меловой толщи.

Таблица 2

Сопоставление показателей физико-механических свойств и глинистости мела туронско-коньякской толщи правобережья Дона

Район расположения разреза	Ярус	Глинистая примесь (<0,01 мм) в %	Уд. вес	Объемный вес скелета	Пористость в %	Временное сопротивл. сжатию в кГ/см²	Морозостойкость в циклах замораживания
с. Сторожевое	турон	0,66	2,50	1,30	51,5	30	10
	коньяк	1,37	2,71	1,44	46,8	35	14
с. Колодежное	турон	0,85	2,71	1,33	50,9	28	11
	коньяк	1,46	2,70	1,55	42,6	37	16
с. Верхний Мамон	турон	1,38	2,71	1,45	46,5	34	8
	коньяк	2,88	2,72	1,53	43,9	43	10
ст. Казанская	турон	1,59	2,72	1,45	46,6	66	7
	коньяк	5,75	2,70	1,51	44,1	51	6
хут. Хованский	турон	2,11	2,70	1,46	45,9	37	7
	коньяк	6,78	2,69	1,56	42,0	59	7
хут. Акимовский	турон	2,75	2,71	1,66	38,7	48	9
	коньяк	8,80	2,69	1,76	34,6	136	5

Таким образом, писчий мел правобережья Дона представляет собой в инженерно-геологическом отношении полускальную микропористую слабо сцементированную известковую породу. Прочность мела резко снижается при водонасыщении вследствие ослабления цементации слагающих его мельчайших частиц кальцита. Это, очевидно, происходит за счет разбухания бейделита, являющегося основной частью глинистой примеси, заполняющей в мелу микропоры.

Поступило
16 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. Д. Архангельский, Матер. по геол. России, 25 1912). [2] Г. И. Бушинский, Тр. ИГН АН СССР, сер. гел., в. 156 (№ 67) (1954). [3] Н. Е. Веденеева, М. А. Ратеев, ДАН, 71, № 1 (1950). [4] М. Ф. Викулова, Сборн. Кора выветривания, Изд. АН СССР, в. 1 (1952). [5] Б. К. Горцуев, Уч. зап. Саратовск. унив., 28, вып. геол. (1951). [6] Т. К. Пузыревская, Изв. Всесоюзн. НИИ гидротехники, 47 (1952). [7] П. П. Пятницкий, Тр. Общ. испыт. природы при Харьковск. унив., 24 (1890). [8] Н. М. Страхов, Тр. ИГН АН СССР, сер. геол., в. 124 (№ 45) (1951). [9] Н. С. Шатский, Тр. Особ. ком. Курск. магнит. аномалий, геол. отд., в. 5 (1924).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Б. П. ВЬЮШКОВ

НОВЫЕ НЕОБЫКНОВЕННЫЕ ЖИВОТНЫЕ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ ТАТАРСКОГО ЯРУСА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР

(*Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 27 XI 1956*)

В 1948—1949 гг. при раскопках известного Пронькинского местонахождения были найдены части позвоночного столба, позвонки, обломки черепа и другие кости весьма странного архаичного облика, отличающиеся от соответствующих костей любого известного до сих пор верхнепермского животного. Хотя и найденные изолированно, они очевидно принадлежат животным одного вида, так как большинство их собрано из небольшой линзы зеленоватого алеврита в юго-восточном крае раскопки, а также сходны по величине и по типу сохранности. Но главным основанием для объединения служит их большое своеобразие; если считать, что каждая группа остатков характеризует особое животное, то придется принять, что в состав фауны входило 3 или 4 необычных, ранее нигде не найденных животных. В 1948 г. остатки сходного типа, а в некоторых отношениях еще более совершенные, были собраны при раскопках местонахождения Горький 1. Краткое описание всех этих находок нами опубликовано ([1]). Там же установлен новый род и вид—Chroniosuchus paradoxus sp. nov. Этот род был позднее описан И. А. Ефремовым в списки верхнепермских позвоночных СССР ([2], [3]), отсюда проник в зарубежные сводки ([4], [5]). К настоящему времени остатки хониозухов зарегистрированы в ряде местонахождений: Завражье на Малой Северной Двине; Кочвал и Стриженская Гора в бассейне р. Сухоны и др. ([3]). Остатки хониозухов отмечаются в сборах геологических партий (в низовьях р. Оки, в бассейне р. Ветлуги, в Пурловской Луге — Горьковская обл., близ ст. Пижма) и уже используются для целей стратиграфии ([6]).

Сем. CHRONIOSUCHIDAE fam. nov.

Краткая характеристика. Мелкие и средней величины (до 1 м в длину) животные с позвоночником, построенным по гастроцентральному типу, но с очень сильно развитыми интерцентрами, имеющими форму дисков, коротких цилиндров с выпуклыми передней и задней поверхностями или неправильных шариков. Череп умеренно удлинен, особенно в предглазничной области. Покровные кости скульптурированы. Tabularia не прикасаются с parietalia. Перед глазницами расположены большие удлиненно-овальные окна, ограниченные lacrimalia, maxillaria и по-видимому, nasomaxillaria. Слуховые вырезки глубокие. Впереди от них латеральные кости supratemporale и postorbitale образуют как бы закраину, указывающую на то, что сочленение этих костей со squamosum и jugale было очень непрочно. Имеются неясные следы каналов боковой линии. Базиптеригоидные отростки с хорошо развитыми суставными поверхностями. Подвздошные кости с длинными оттянутыми назад верхними концами.

Распространение и возраст. Приуралье, Поволжье, Северные области Европейской части СССР, Верхнетатарский подъярус пермского периода — $P_2^{tat_2}$.

Общие замечания. В составе нового семейства установлен один род с 2 видами. Филогения и родственные связи семейства не ясны, но несомненно, что оно имело длительную самостоятельную историю и в этом отношении может быть сравнено с сем. Lanthanosuchidae. Поскольку

в скелете этих животных сочетаются признаки амфибий и рептилий семейство отнесено в подкласс Batrachosauria.

Chroniosuchus gen. nov.

Тип рода. Ch. paradoxus sp. nov.

Краткая характеристика. Небольшие и средней величины животные с удлиненными черепами. Большое пинеальное отверстие расположено в передней трети теменных костей, несколько позади заднего края глазниц. Предглазничная область черепа удлинена. Praefrontalia велики. Остистые отростки невральных дуг тонкие. Зигапофизы небольшие, их сочленовные площадки стоят косо под углом около 45° к горизонтальной плоскости. Парапофизы в туловищной области удлиненные. Ребра двуголовчатые. Хвостовые интерцентры несут длинные расширенные дистально гемальные дуги. Хвост животного, очевидно, был высокий и сжатый с боков.

Рис. 1. Chroniosuchus paradoxus sp. nov. из местонахождения Пронькино. Голотип. Часть позвоночного столба из хвостовой области

Chroniosuchus paradoxus sp. nov. (рис. 1, 2)

Голотип. Часть позвоночного столба — ПИН 521/6.

Дополнительные материалы. Обломок посторбитальной части крыши черепа — 521/5, два обломка основания черепа, верхне- и нижнечелюстные кости, подвздошные кости, большое число (свыше 300) изолированных центров и интерцентров. Все остатки происходят из Пронькинского местонахождения, Сорочинского района, Чкаловской обл.

Краткая характеристика. Небольшое животное с черепом 12—15 см длины. Расстояние от заднего края пинеального отверстия до затылочного края 15—20 мм. Интерцентры в виде дисков и цилиндров, но не в виде шариков; сильно варьируют по величине, толщине, очертаниям и размерам канала хорды. Последний хорошо развит, особенно велик у небольших интерцентров, имеющих форму кольца. У наиболее крупных интерцентров с поперечником более 1 см этот канал сужен до диаметра тонкой иголки. Довольно часты случаи, когда толщина интерцентров из туловищной области несколько убывает кверху, так что кость в латеральном аспекте приобретает клиновидную форму. При крайнем выражении этого сужения интерцентр приобретает форму подковы, концы которой сближены, но не соприкасаются, так что канал для хорды не замкнут сверху. Таким образом, наблюдается как бы серия переходов от подковообразных интерцентров, напоминающих сильно развитые интерцентры примитивных рептилий, до толстых цилиндрообразных интерцентров с выпуклыми передней и задней поверхностями. Интерцентры из хвостовой области развиты лучше, чем туловищные, достигают $^3/_5$ длины центров и несут мощные гемальные дуги.

Chroniosuchus mirabilis sp. nov. (рис. 3)

Голотип Часть крыши черепа — ПИН 523/1.

Дополнительные материалы. Два обломка основания черепа, большое число (около 150) изолированных центров и интерцентров,

том числе шейных и хвостовых, и мелкие обломки черепных костей. Все татки происходят из раскопок в старом оползне Окского косогора в р. Горьком на участке между Ярильским оврагом и Казанским вокзалом.

Краткая характеристика. Средней величины животное черепом длиной 20—25 см. Расстояние от заднего края пинеального от-рстия до затылочного края около мм. Интерцентры в виде цилиндров ли шариков с диаметром до 1,5 см. амые маленькие интерцентры по фор-е аналогичны крупным интерцентрам . parodoxus. Гастроцентры непро-денные, прочно срощены с невраль-ыми дугами. На глубоковогнутых ередней и задней поверхностях мно-х гастроцентров различимы особые стные наплывы, образованные за ет разрастания нижних отделов вральных дуг.

Как указывалось, остатки хрониоз-хов найдены в ряде других место-хождений верхнетатарских позво-очных. Среди этих находок наиболь-ий интерес имеет часть позвоночного олба из местонахождения Завражье, бытая А. П. Гартман-Вейнберг в 29 г. и определенная ею как при-длежащая тероцефалу, коллекци-ный № 2353/6 (рис. 4). Размеры о близки к Ch. mirabilis, но тела по-онков несколько более удлинены, а вральные дуги менее массивны. Из угих местонахождений происходят дельные центры и интерцентры, ичем в Пурловской Луге найден терцентр почти 2 см в диа-тре.

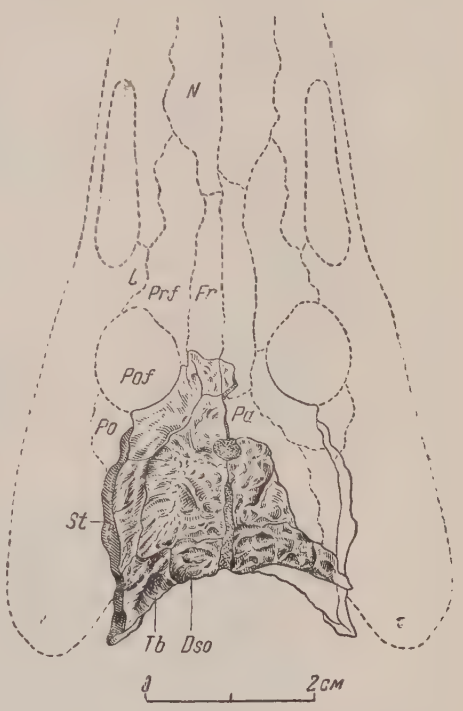


Рис. 2. Ch. paradoxus sp. nov. из местонахождения Пронькино. Часть крыши черепа: *Dso* — dermosupraoccipitale, *Fr* — frontale, *L* — lacrymale; *N* — nasale, *Pa* — parietale; *Po* — postorbitale; *Pof* — postfrontale, *Prf* — praefrontale, *St* — supratemporale, *Tb* —tabulare

Суммируя данные по анатомии ониозуха, следует отметить, что строении этого животного наблюдалось сложное переплетение как черт айней примитивности, унаследованных едва ли не от карбоновых эмбо-меров, так и признаков высокой специализации. К числу первых можно нести: подвижное базиптеригоидное сочленение, глубокую слуховую вы-зку, непрочное соединение задне-латерального отдела крыши с дорзо-риетальным, строение подвздошной кости. Признаками специализации жно считать: строение позвоночника (большая величина и необычная рма интерцентров) и наличие огромной предглазничной фонтанели. Сле-ет оговориться, что разделение признаков на признаки примитивности специализации весьма условно. Наличие признаков, сближающих хро-озухов с эмболомерами, указывает, что группа имела длительную само-оятельную историю и что корни ее, возможно, уходят в карбон. Из изнаков специализации особого освещения заслуживают следующие.

Строение позвоночника. Необычная форма интерцент-в связана с их прогрессивным окостенением, сопровождавшимся запазды-нием окостенения базивентральных элементов и разрастанием нижних стей невральных дуг. Шарообразная форма интерцентров, а также строе-е зигапофизов, указывает как будто на то, что позвоночник животного л весьма гибким как в боковом, так и в вертикальном направлении.

В боковом направлении гибкость его была вероятно неменьшей, чем у змей, у которых повышенная гибкость достигается однако принципиально иным способом — значительным увеличением общего числа позвонков. Изменения в строении позвоночника хониозухов, очевидно, связаны с приспособлением к особому типу передвижения.

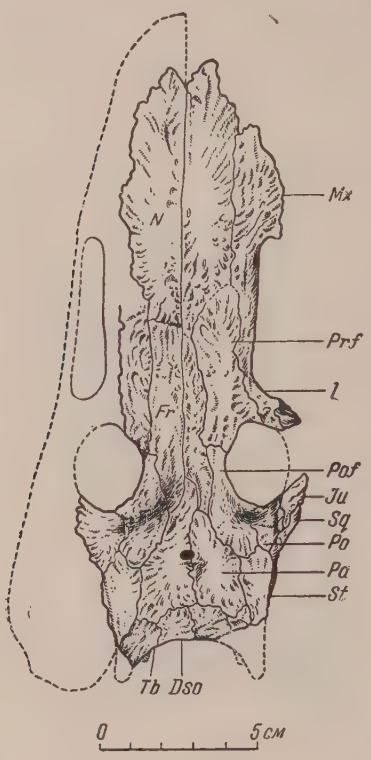


Рис. 3. Ch. mirabilis sp. n. из местонахождения Горький 1. Голотип. Часть крыши черепа: *Ju* — jugale, *Mx* — maxillare, *Sq* — squamosum. Остальные обозначения, как на рис. 2

Предглазничная фонтанель. Можно допускать, что она служила вместилищем какой-то железы, подобно предглазничным вырезкам лантанозуха или некоторых эмболомерных стегоцефалов. Но не исключена возможность того, что развитие ее коррелятивно связано с наличием глубоких слуховых вырезок, с непрочным соединением костей в посторбитальной области и присутствием базиптеригоидных суставов и что совместно с перечисленными структурами она была призвана обеспечить подвижность черепа — его латеральных частей и челюстей по отношению к дорсальной поверхности крыши и мозговой коробки.

Подвижность черепа не представляет редкости среди различных групп тетрапод. Она установлена у древнейших стегоцефалов, унаследовавших ее от кроссоптеригий, широко распространена среди лепидозавров, наблюдается у хищных динозавров и у птиц и установлена среди тероцефалов (Euchambersia, скалопозавры). Наиболее близкий к предполагаемому у хониозухов тип подвижности черепа имеют бесхвостые земноводные.

Высказанные предположения в общем мало приближают нас к пониманию биологии и образа жизни этого удивительного животного. Хониозух

Рис. 4. Chroniosuchus sp. из местонахождения Завражье Часть позвоночного столба из туловищной области

до сих пор, подобно открытым недавно Tupilakosaurus heilmani Niel. (7) и Bystrowiana permira Vjusch. (8), должен быть оставлен в разряде палеонтологических загадок.

Палеонтологический институт
Академии наук СССР

Поступило
27 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. П. Вьюшков, Автореферат диссертации, М., 1950. [2] И. А. Ефремов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 6 (1952). [3] И. А. Ефремов, Б. П. Вьюшков, Тр. Палеонт. инст. АН СССР, **46** (1955). [4] Traité de Paléontologie, **5**, 1955. [4] F. Huene, Paläontologie und Phylogenie der Niederen Tetrapoden, 1956. [6] В. И. Игнатьев, ДАН, **106**, № 1 (1956). [7] E. Nielsen, Medd. Grønland., **72**, № 8 (1954). [8] Б. П. Вьюшков, Тр. Палеонт. инст. АН СССР, **68** (1957).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113. № 1

ГИСТОЛОГИЯ

В. П. БАБМИНДРА

АФФЕРЕНТНАЯ ИННЕРВАЦИЯ ВЕРХНЕГО ШЕЙНОГО ГАНГЛИЯ ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком К. М. Быковым 3 XII 1956)

Изучение афферентной иннервации вегетативных ганглиев имеет первостепенное значение для понимания строения и функции вегетативной нервной системы. Впервые А. С. Догель ([1–3]) в ряде работ указал на наличие чувствительных окончаний в ганглиях. Подробно этот вопрос был разработан С. Михайловым ([4, 5]), который описал шесть видов чувствительных окончаний в ганглиях солнечного сплетения и в ганглиях мочевого пузыря. Не-

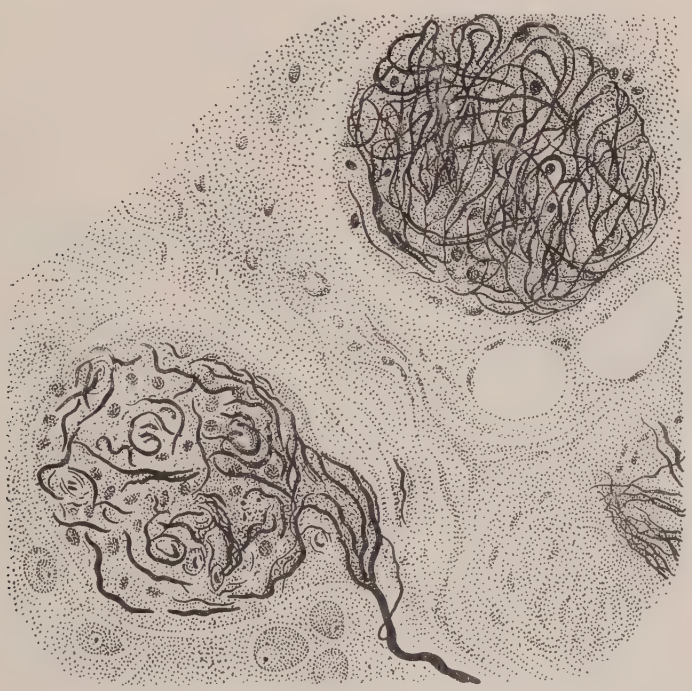


Рис. 1. Два рецептора клубочковой формы в соединительнотканной строме верхнего шейного ганглия женщины 20 лет, погибшей от несчастного случая. Бильшовский — Грос. Об. 8 ок. 20; репрод. 3 : 4

колько позднее чувствительные окончания в верхнем шейном ганглии человека были описаны Де-Кастро ([6, 7]). В последующие четверть века дальнейшее изучение этого вопроса не велось. Этому, вероятно, способствовало авторитетное мнение Лэнгли об исключительно эфферентном характере вегетативной нервной системы. Только в последнее время в связи с широким

развитием учения об интерорецепции вновь поднят вопрос о наличии чувствительных аппаратов в вегетативных ганглиях. Начиная с 1949 г. Н. Г. Колосовым ([8–10]), его учениками и сотрудниками, были подробно изучены

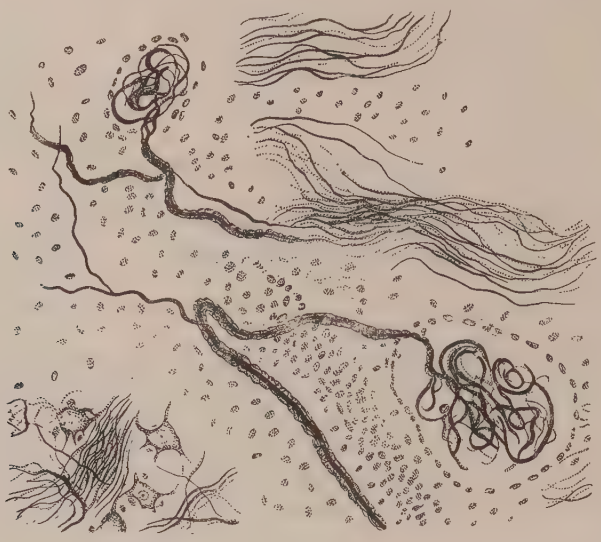


Рис. 2. Два инкапсулированных рецептора клубочковой формы в строме ганглия мужчины 31 года, погибшего от лейкемии. Бильшовский — Грос. Об. 8, ок. 5; репрод. 3 : 4

чувствительные окончания в ряде интрамуральных и экстрамуральных узлов.

Афферентные окончания в вегетативных ганглиях описаны также другими авторами ([11–16]) в виде инкапсулированных и неинкапсулированных клубков, в виде древовидных окончаний, лежащих в соединительнотканной строме и среди глиальных элементов, а также в виде перикапсулярных аппаратов — чувствительных окончаний, расположенных непосредственно на капсулах невронов. Но все-таки вопрос о наличии рецепторов в вегетативных ганглиях остается спорным. Так, Ф. Штер ([15]) ставил их существование под сомнение, предполагая, что элементы, обнаруженные в симпатических ганглиях и весьма сходные с чувствительными окончаниями — это регенерирующие нервные образования. Более осторожна трактовка структур, сходных с рецепторами, Н. Е. Ярыгиным ([13]). Ачукаро ([18]) склонен рассматривать обнаруженный им рецептор в верхнем шейном ганглии человека, как патологическое образование («ovillo colosal» фиг. 3).

Таким образом вопрос о наличии афферентной иннервации вегетативных ганглиев является спорным и для его разрешения нужны новые фактические данные. С этой целью и было предпринято настоящее исследование.

Всего нами было изучено 72 верхних шейных ганглия человека. Материал брался как нормальный (смерть от несчастных случаев у молодых индивидуумов), так и патологический. Для обработки были использованы методы Бильшовского — Грос, Кахаль — Фаворского и Гольджи — Дейнеки. Наилучшие результаты были получены при обработке срезов по Бильшовскому — Грос после двухнедельной фиксации в 12%-м нейтральном формалине. Часть срезов, после импрегнации по Бильшовскому — Грос, подкрашивалась по Маллори.

В результате исследования нам удалось обнаружить различной сложности строения рецепторы, расположенные в соединительнотканной строме или среди глиальных элементов. При исследовании нормального материала были выявлены два инкапсулированных клубочковых рецептора (рис. 1).

Один из клубочков образовался в результате деления на три ветви толстого мякотного волокна. Видно, как средняя ветвь тотчас же снова дихотомически

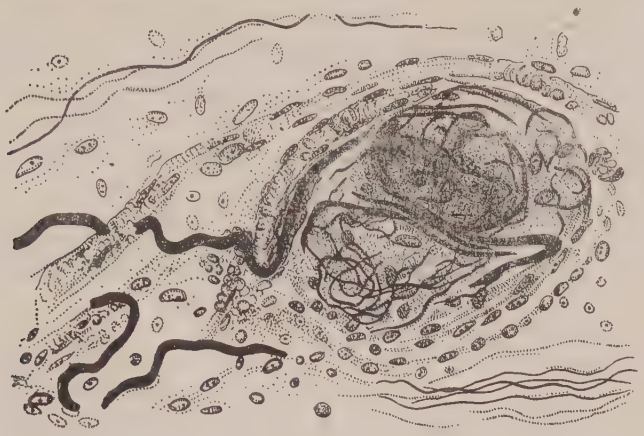


Рис. 3. Рецептор, расположенный непосредственно под капсулой узла, у мужчины 50 лет, погибшего от желтой атрофии печени. Бильшовский — Грос. Об. 40, ок. 7; репрод. 7 : 8

делится. В образовании клубка принимает участие также тонкое безмякотное нервное волокно. Второй клубок отличается от первого меньшим диаметром составляющих его волокон. На препарате отчетливо заметно дихотомическое деление одного из волокон внутри клубка. В другом случае, в условиях патологии, в соединительнотканной строме, были выявлены также два инкапсулированных чувствительных клубочка. Толстые мякотные волокна, образующие их, сильно вакуолизированы; концевые отделы аргентофильны и гипертрофированы. Вокруг каждого клубочка отчетливо видна капсула. Причем капсула как бы отслоена от волокон, составляющих клубок, и отстоит от них на некотором расстоянии (рис. 2).

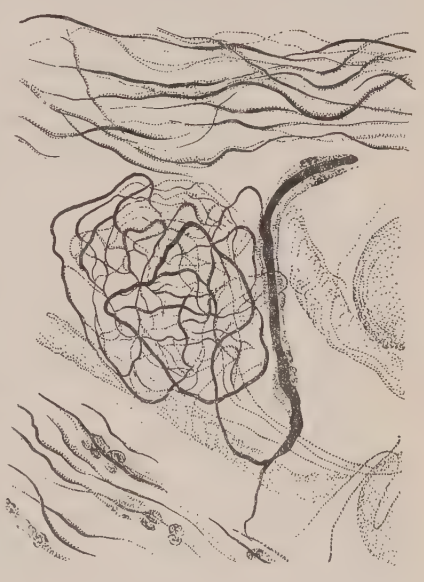


Рис. 4. Неинкапсулированный чувствительный клубочек из верхнего шейного ганглия мужчины 55 лет, погибшего от рака печени. Бильшовский —Грос. Имм. Об. 90, ок. 10, репрод. 7 : 8

Наибольшее число рецепторов удалось выявить в апикальной части ганглия, непосредственно под его капсулой. Это также инкапсулированные, эллипсоидной формы клубки, образованные толстыми мякотными волокнами. Величина клубков колеблется от 150 до 240 μ. Нередко можно видеть тесную близость рецепторов к кровеносным сосудам (рис. 3).

Кроме инкапсулированных рецепторов мы наблюдали неинкапсулированные чувствительные клубочки, размером лишь немного превышающие нервную клетку. На рис. 4 видно как толстое мякотное волокно дихотомически делится и одна из его ветвей, постепенно истончаясь, образует нервный клубочек. В образовании рецептора принимают участие также три очень тонких безмякотных волокна. Следует отметить, что мы не встретили в литературе описания подобной формы афферентного окончания в дан-

ном ганглии. Таким образом наше исследование, подтверждая данные Де-Кастро и Колосова о наличии афферентных окончаний в верхнем шейном ганглии человека, несколько дополняет их. В том, что наблюдаемые структуры являются рецепторными, нас убеждает следующее: все клубки образуются в результате деления толстого мякотного волокна; вокруг клубков имеется капсула и, наконец, в образовании рецепторов принимают участие тонкие безмякотные волокна. Все эти элементы отсутствуют у хаотических, небольшого размера клубков, образующихся при «компенсаторных» ([15]) или «реактивных» ([16]) разрастаниях нервных волокон.

Наличие афферентной иннервации верхнего шейного узла свидетельствует о том, что деятельность этого ганглия, иннервирующего важнейшие органы головы, шеи и груди, находится под контролем центральной нервной системы.

Институт физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР

Поступило
29 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] A. S. Dogiel, Anat. Anz., **12**, № 6 (1896). [2] A. S. Dogiel, Arch. micr. Anat., **62**, 244 (1903). [3] A. S. Dogiel, Der Bau der Spinalganglien des Menschen und der Säugetiere, Jena, 1908. [4] S. Michailov, Arch. f. Mikr. Anat. u. Entwicklungsgesch., **72**, 554, (1908). [5] С. Михайлов, Микроскоп. строение ганглиев солн. сплетения и др. ганглиев погран. ствола, СПб, 1908. [6] F. de Castro, Bol. Soc. Espaň. Biol., **4**, 34 (1917). [7] F. deCastro, Trab. del Lab. de Invest. Biol. de Madrid. **20**, 113 (1920). [8] Н. Г. Колосов, Тез. докл. 5 съезда анатомов, гистологов и эмбриологов, 1951. [9] Н. Г. Колосов, Арх. анат., гистол. и эмбриол., **29**, в 3 (1952). [10] Н. Г. Колосов, Иннервация внутр. органов и сердечно-сосуд. системы, Изд. АН СССР, 1954. [11] С. М. Миленков, Докл. АН БССР, № 2, 33 (1950). [12] Е. М. Крохина, Арх. анат., гистол. и эмбриол., **29**, в. 5 (1952). [13] Н. Е. Ярыгин, Сборн. научных работ, посвящен. 10-летию Мед. инст., 1944—1954, Ярославль, 1954. [14] J. F. Nonidez, J. Comp. Neurol., **85**, № 2 (1946). [15] Ph. Stöhr, jun., Acta Neurovegetativa, Wien, **10**, H. 1—2, 21 (1954). [16] Е. Я. Корытный, Иннервация пищевода, Кандидатская диссертация М., 1951. [17] И. Д. Лев, Тез. докл. 2 Украинск. конфер. морфологов, Харьков, 1956. [18] A c h u c a r o, Trab. del Lab. de Invest. Biol., **12** (1914).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГИСТОЛОГИЯ

Н. А. КОЛЕСНИКОВА

РЕАКТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНДОТЕЛИЯ МЕЛКИХ СОСУДОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СДАВЛИВАНИЯ МЯГКИХ ТКАНЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 11 X 1956)

Многочисленные исследования, посвященные изучению изменений эле-нтов сосудистой стенки в условиях эксперимента и патологии, не привели настоящее время к единому мнению об их реактивных возможностях. Это носится особенно к эндотелиальной выстилке сосудов.

По одним воззрениям ([1,6, 16-20]) эндотелий мелких сосудов и капилляров, по некоторым данным — и более крупных сосудов ([7]), способен к превра-ению в различные клетки соединительной ткани (фибробласты, адвенти-альные клетки, гемоцитобласты, лимфоциты, гранулоциты, гладкомы-ечные клетки и др.). Эндотелий крупных сосудов утрачивает способность митотическому делению. После повреждения он гибнет, новая же эндо-лиальная выстилка образуется за счет элементов стенки сосуда, лежащих аружи от эндотелия, из так называемой «сосудистой мезенхимы», или осудистого камбия» ([2, 15]).

Другая точка зрения на реактивность эндотелия, подтверждаемая новы-исследованиями, говорит о том, что эндотелий даже крупных сосудов разных животных после различных повреждений способен к пролифера-и ([3, 4, 8-14, 21]). В условиях тканевых культур ([5]) и в условиях целостного ганизма эндотелий может расти пластом и продвигается как по поверх-сти поврежденного участка стенки сосуда, так и по формирующемуся в со-де тромбу ([4, 8, 10, 12-14, 21]). Разрастания эндотелия в просвете сосуда [7, 12, 14]) приводят к образованию в последнем перегородок, а рост эндоте-я в стенку сосуда — к образованию в ней капилляров ([12, 14]).

В условиях опытов, имеющих специальное значение представилась воз-жность проследить динамику изменений многих тканей, в том числе и менения эндотелия, главным образом мелких и некоторых относительно лее крупных сосудов конечности.

Опыты были поставлены на 42 взрослых кроликах. Задняя конечность авливалась двумя металлическими пластинами (шириной 5 см). Длитель-сть сдавливания от 1,5 до 5 час. Материалом для гистологического изуче-я служили мелкие внутримышечные и межмышечные сосуды, подкожная на бедра и сосуды, проходящие в бедренном сосудисто-нервном пучке. ксация материала производилась в различные сроки после повреждения 15 мин. до 1 мес.) в 15%-м растворе формалина, ценкер-формоле, смеси ва, жидкости Карнуа. Срезы, изготовленные после заливки в целлоидин, рафин или на замораживающем микротоме, окрашивались гематоксили-м с эозином, железным гематоксилином, метиловым зеленым-пиронином, урII-эозином, азаном, пикрофуксином, орсеином и обрабатывались се-бром для выявления аргирофильных волокон по Футу—Бильшовскому, я выявления фибрина по Вейгерту и гликогена по Бесту. Некоторые срезы ли обработаны рибонуклеазой и докрашены азур II-эозином. В части ытов кроликам прижизненно был введен в кровь 1%-й раствор трипано-й сини (одно-, дву- и троекратное введение по 10 мл).

Длительное сдавливание мягких тканей приводит к полному или ча
стичному разрыву многих мелких сосудов и некоторых более крупных и
как следствие,— к обширному кровоизлиянию. В скелетной мускулатур
возникают значительные повреждения, приводящие к некрозу тканей
Омертвевающие участки тканей обычно имеют очаговое расположение и
начиная с первых суток, отграничиваются от менее поврежденных частей
лейкоцитарным валом.

В некоторых сосудах (артериях, венах, лимфатических сосудах), рас
положенных кнаружи от лейкоцитарного вала и невдалеке от очагов не
кроза, на поверхности эндотелия выпадает фибрин (рис. 1). Эндотелиальные

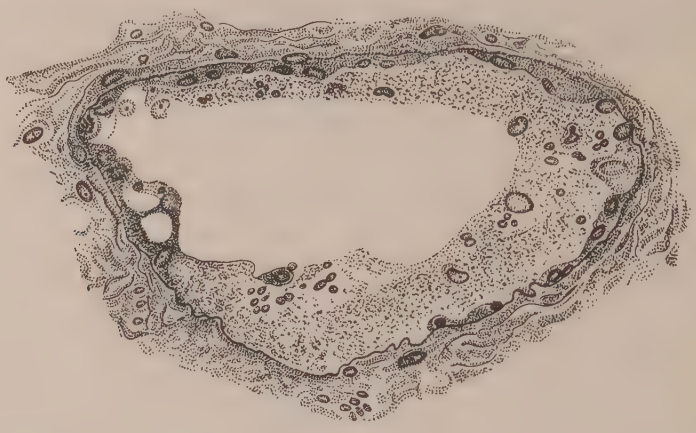


Рис. 1. Лимфатический сосуд подколенной области, 2 сутки после 5-часового сдавливания. Частичный некроз эндотелиальной выстилки. Пристеночное отложение фибрина. Митотическое размножение эндотелиальных клеток и начало продвижения их по свободной поверхности фибрина. Формалин. Орсеин. Гематоксилин. Об. 40, ок. 10×. Рисунок, репрод. 1 : 2

клетки и подлежащие элементы в этих местах интенсивно окрашиваются
прижизненно трипановой синью, что, по-видимому, говорит об их повреж
дении.

В большей части сосудов развивается резкая вакуолизация цитоплазмы
эндотелиальных элементов, которая начинается в первые часы после осво
бождения от сдавливания, нарастает и достигает максимума к 2—3 суткам.
Эндотелиальный пласт приобретает вид призматического эпителия с клет
ками неодинаковой высоты. В закругленных апикальных концах клеток
располагаются часто пикнотические, полулунной формы ядра, оттиснутые
вакуолью к поверхности пласта. Прозрачное содержимое вакуолей не окра
шивается ни одним из примененных методов. Базальные части клеток эндо
телия посредством тонких цитоплазматических ножек остаются связанны
ми с эластической мембраной, на которой они обычно расположены. Осо
бенно сильно вакуолизация цитоплазмы эндотелия выражена в подкож
ных венах бедра, в наименьшей степени в мелких лимфатических сосудах
и кровеносных капиллярах.

В эндотелии мелких внутримышечных и межмышечных кровеносных и
лимфатических сосудов и капилляров к концу первых суток обнаруживает
ся набухание цитоплазмы и увеличение размеров клеток. При этом он энер
гично делится митозами (рис. 1 и 2). Количество митозов в эндотелии ко
второму дню больше, чем в соединительной ткани. В дальнейшем количество
митозов в эндотелии сосудов всех калибров резко возрастает, и к 4—5 сут
кам (а иногда к 7 суткам) митотическая активность эндотелия достигает
максимума. В соединительной ткани количество делящихся клеток также
увеличивается, но максимум митотической активности приходится на 6—10
сутки, после чего митозы встречаются уже реже. Вместе с увеличением

итотической активности, несколько предшествуя этому во времени, идет акопление нуклеиновых кислот в цитоплазме эндотелиальных и окружающих их сосуды соединительнотканных клеток. Однако базофилия цитоплазмы эндотелиальных клеток мелких вен и капилляров выражена более резко. Околоядерные участки цитоплазмы окрашиваются настолько сильно, что структура цитоплазмы улавливается с трудом. В периферических участках

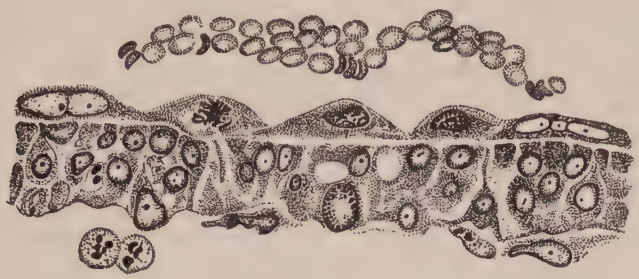


Рис. 2. Межмышечная артерия бедра, 2 сутки после 5-часового сдавливания. Митозы в эндотелии и гладкой мускулатуре. Амитотическая перешнуровка ядер эндотелия. Формалин. Железный гематоксилин. Об. 90, ок. 10×. Рисунок, репрод. 1 : 2

а мелкозернистая, местами сетчатая. Ядра, как правило, окрашиваются сколько светлее цитоплазмы, но встречаются и более темно окрашенные. дро содержит 1—2 ядрышка и мелкозернистый хроматин. После обработ-

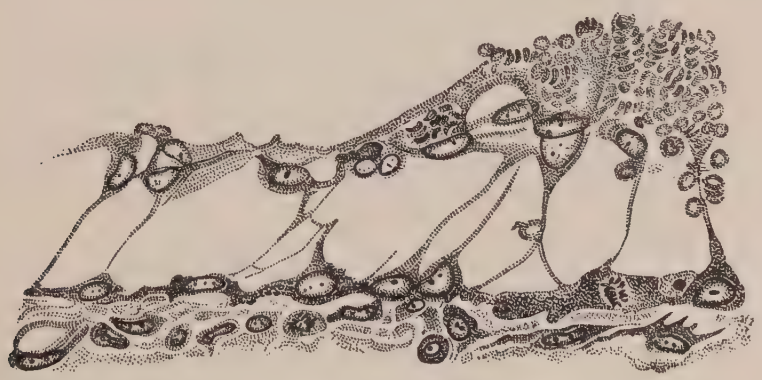


Рис. 3. Интравазальное разрастание эндотелия лимфатического сосуда, 5 сутки после 1,5-часового сдавливания. Митоз эндотелиальной и адвентициальной клеток. Ценкер-формол. Азур II-эозин. Об 60, ок. 10×. Рисунок, репрод. 1 : 2

рибонуклеазой цитоплазма окрашивается азуром очень слабо, ядра на ом фоне выглядят более темными, хотя интенсивность их окрашивания дает, ядрышко выявляется очень отчетливо. По сравнению с клетками, ходящимися в интеркинезе, митотически делящиеся клетки имеют более раженную базофилию цитоплазмы (при окраске метиловым зеленым-пиином — ярко-красную). После обработки рибонуклеазой хромазомы раняют способность окрашиваться азуром.

В условиях настоящих опытов эндотелий сосудов отличается от адвенциальных элементов своим отношением к прижизненным красителям. то время как возбужденные адвентициальные клетки, гистиоциты и мафаги накапливают трипановую синь в большом количестве, в виде грух зерен, местами сливающихся в крупные глыбки, в эндотелии кровеносх сосудов прижизненный краситель почти не откладывается. Лишь в единых клетках эндотелия вен можно видеть отдельные гранулы в течение

Заказ 1212

первых 15 мин. после введения красителя. В эндотелии лимфатических сосудов в эти же сроки каждая эндотелиальная клетка содержит заметные группы очень мелких зерен трипановой сини, располагающиеся у полюсов ядра.

Эндотелиальные элементы способны разрастаться во всех направлениях. Разрастание эндотелия в просвете сосуда (интравазальный рост) начинается обычно с образования тонких цитоплазматических нитей, протягивающихся от апикальных концов клеток к сгустку фибрина или комплексу слипшихся кровяных клеток, находящихся в его просвете. Без этого, по-видимому, нет условий для внутрисосудистого роста эндотелия. Позже смещаются и ядросодержащие участки тела эндотелиальных элементов и образуются сначала одноклеточные, а затем и многоклеточные эндотелиальные тяжи (рис. 3), нередко перегораживающие просвет сосуда. Если фибриновый сгусток не подвергся рассасыванию (возможно, с помощью этих же эндотелиальных элементов), пристеночный эндотелий надвигается на его поверхность. Одновременно с увеличением массы тромба происходит его перекрытие надвигающимся эндотелиальным пластом и отграничение последнего от просвета сосуда. Часто уже к концу третьих суток поверхность тромба перекрыта эндотелием (рис. 4, см. на вклейке к стр. 76), что прекращает дальнейшее увеличение его массы. В сосудах, где тромб полностью закупоривает просвет, эндотелий гибнет.

Разрастание эндотелия кнаружи ведет к образованию в стенке сосуда каналов, соединяющих его просвет с мелкими сосудиками, находящимися в окружающих тканях. Вновь образованные анастомозы состоят только из одного эндотелия.

Резюмируя вышеизложенное, необходимо подчеркнуть, что эндотелий мелких сосудов реагирует на повреждение специфически. Энергично пролиферируя, он способен давать интравазальные и интрамуральные разрастания, как и эндотелий магистральных сосудов ([4], [12], [14]), и участвует в изоляции тромба от просвета сосуда, образуя его покров. Превращения эндотелиальных элементов в лимфоциты, моноциты, макрофаги, гемоцитобласты и другие клетки соединительной ткани в условиях произведенных опытов не наблюдалось.

Военно-медицинская академия
им. С. М. Кирова

Поступило
6 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. А. Заварзин, Курс гистологии и микроскопической анатомии, Изд. 5, 1939. [2] А. А. Заварзин, Очерки эволюционной гистологии крови и соединительной ткани, в. 2, М.— Л., 1947. [3] P. Baumgarten, Entzündung, Thrombus, Embolie und Metastase im Lichte neuerer Forschung, München, 1925. [4] Н. А. Колесникова, Экспериментально-гистологические исследования эндотелия лимфатических мешков, Диссертация, Л., 1946. [5] Н. А. Колесникова, ДАН, **84**, № 1 (1952). [6] A. A. Maximow, Ziegler's Beitr., **5**, Suppl., H. 1 (1902). [7] B. Malyschew, Virch. Arch., 272, 727 (1929). [8] Н. И. Напалков, Шов сердца и кровеносных сосудов, Диссертация, М., 1900. [9] Г. Николаев, Журн. норм. и патол. гистологии, **4**, 19 (1871). [10] В. А. Оппель, Virch. Arch., **165**, 1 (1901). [11] E. Pick, Zs. f. Heilkunde, 6, H. 1. 459 (1886). [12] А. Д. Смирнов, Изменения эндотелия при заживлении сосудистой стенки, Диссертация, Л., 1954. [13] П. И. Тихов, Хирург. летопись, 4/6, 916 (1894). [14] Н. А. Шевченко, ДАН, **83**, № 3 (1952). [15] С. И. Щелкунов, Сосудистая мезенхима и ее роль в постэмбриональном морфогенезе кровеносной системы. Диссертация, Л., 1937. [16] H. Borchard, Virch. Arch., **259** (1926). [17] H. Herzog, Klin. Wchschr., 2, 684, 730 (1923). [18] H. Sigmund, Verhandl. d. deutsch. pathol. Ges., 20, 260 (1925). [19] R. Thoma, Virch. Arch., **230** (1923). [20] N. Foot, J. exp. Med., цит. по A. A. Maxiow, Handb. d. Mikr. Anat. d. Menschen, 2, Teil 1, 1927, S. 232. [21] F. Zahn, Virch. Arch., **96**, № 1, 1 (1884).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГИСТОЛОГИЯ

С. Г. КУЛЬКИН

АЗВИТИЕ АФФЕРЕНТНОЙ ИННЕРВАЦИИ ИНТРАМУРАЛЬНЫХ ГАНГЛИЕВ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком Л. А. Орбели 30 XI 1956)

ффферентной иннервации интрамуральных узлов мочевого пузыря но-ено очень мало исследований ([1-3]), причем только в одном из них ([3])

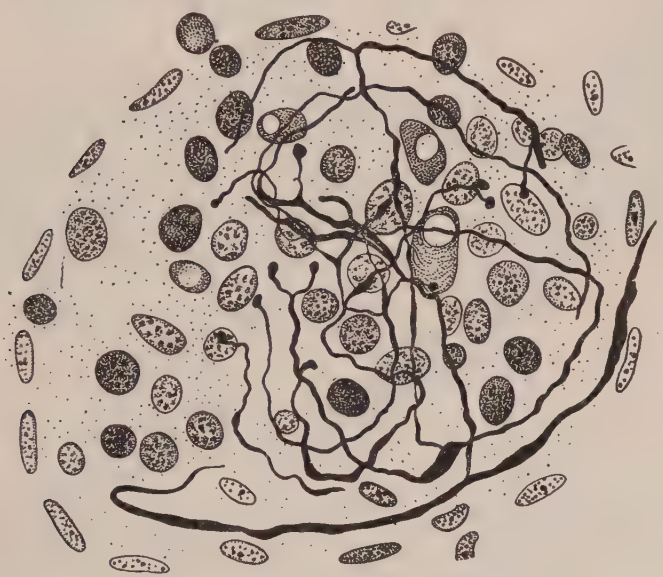


Рис. 1. Сложный рецептор в ганглии нейробластов. Треугольник мочевого пузыря. Плод 140 мм длины. Кампос. Цейсс, об. 100 имм., ок. 10×

тся данные о рецепторах ганглиев мочевого пузыря человека. Сведе-о развитии чувствительных нервных окончаний этих узлов у человека ще отсутствуют.

рименив методы Бильшовского—Грос и Кампоса, мы изучили развитие ыторных приборов в интрамуральных ганглиях мочевых пузырей эм-нов (начиная с 35 мм длины), плодов и новорожденных у человека.

ффферентные окончания в форме простых кустиков, заложенных в стро-ервных узлов и окружающей их соединительной ткани, были обнару-нами впервые у зародышей 128 мм длины.

плодов 140 мм длины в ганглиях уже встречаются не только одиноч-устиковые чувствительные окончания, но и целые рецепторные участки, зованные разветвлениями нескольких нервных волокон. На рис. 1 ван сложный рецепторный аппарат ганглия нейробластов межмышеч-

ного сплетения мочевого пузыря плода 140 мм длины. Ветви афферентно волокна, проникая под слабо выраженную капсулу нервного узла, мног кратно дихотомически делятся и образуют сплетение, в петлях которо располагаются нейробласты. Отдельные терминальные веточки оканчиваю ся пуговками, колечками или маленькими ретикулярными пластинкам

Рецепторные приборы интрамуральных узлов мочевого пузыря плод 210 и 220 мм длины также в основном представлены чувствительными к стиками, которые находятся в строме или капсулах ганглиев. Однако х рошо заметна дальнейшая дифференцировка чувствительных окончани увеличивается число терминальных ветвей, образующихся за счет послед вательного дихотомического деления нервного волокна, терминали делаю ся длиннее, сами рецепторы занимают большую площадь. У плодов 220 м длины наряду с кустиковыми чувствительными окончаниями в области тр угольника и дна мочевого пузыря были обнаружены инкапсулированны рецепторы, связанные с соединительнотканными капсулами крупных га глиев или лежащие рядом с ними, а также по ходу крупных нервных пу

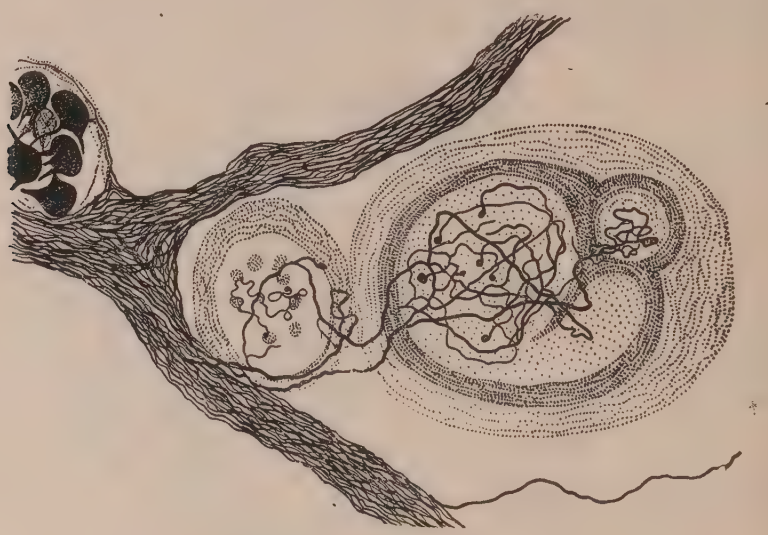


Рис. 2. Инкапсулированные рецепторы, располагающиеся между нервными пучками вблизи от ганглиев. Треугольник мочевого пузыря. Плод 220 мм длины. Бильшовский — Грос. Цейсс, об. 45, ок. 7×

ков (рис. 2). Они всегда бывают связаны с толстыми нервными волокна и достигают иногда сложного строения. В последних случаях рецепт представляет группу простых инкапсулированных чувствительных теле связанных с одним нервным волокном и покрытых общей соединитель тканной капсулой.

На следующих стадиях эмбриогенеза больше всего встречаются реце торы типа чувствительных кустиков, которые возникают за счет многокр ного дихотомического деления мякотных нервных волокон. Терминальн веточки рецептора пронизывают строму ганглия и располагаются меж капсулами нейронов. Отдельные нервные ветви проникают в капсу узла, образуя в ней кустиковые окончания менее сложного строения.

Наибольшего развития кустиковые рецепторы достигают в послед период фетальной жизни (плоды 310—320 мм длины) и у новорожденн

Мякотные волокна, образующие такие рецепторы, в ганглиях утр вают миэлин и распадаются на большое число ветвей, которые прони вают своими терминалями весь нервный узел (рис. 3). Отдельные термина ные веточки прилегают к капсулам нейронов, но не образуют перик

лярных окончаний, теряясь либо в строме ганглия, либо в соединитель-й ткани его капсулы (рис. 4).

Ю. С. Слепков [3] обнаружил в ганглиях мочевого пузыря взрослых дей неинкапсулированные клубочковые рецепторы, один из которых

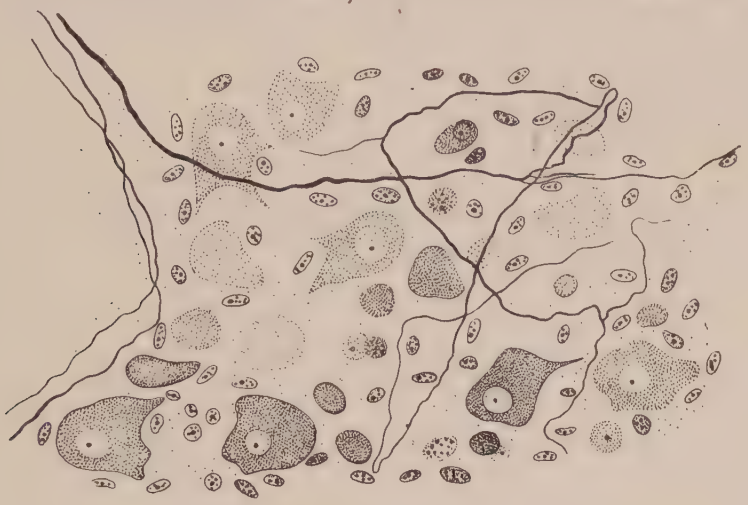


Рис. 3. Чувствительное окончание в строме ганглия межмышечного сплетения. Тело мочевого пузыря. Плод 320 мм длины. Бильшовской—Грос. Цейсс, об. 60 имм., ок. 10×

полагался в строме ганглия, другой — на капсуле нейрона. В период бриогенеза мы наблюдали только простые перикапсулярные нервные ончания в виде одиночных пуговок или ретикуляров. Следовательно,

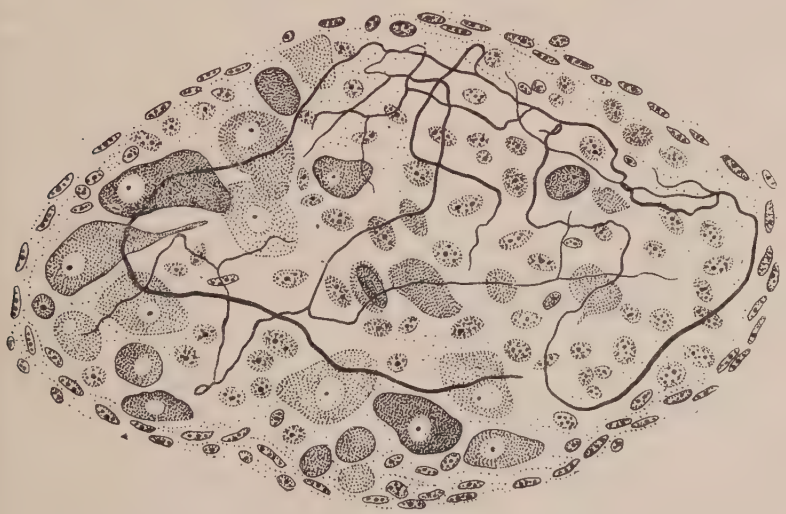


Рис. 4. Чувствительное нервное окончание в ганглии межмышечного сплетения. Треугольник мочевого пузыря. Новорожденный. Кампос. Цейсс, об. 60 имм., ок. 7×

жные перикапсулярные рецепторы интрамулярных нейронов мочевого ыря появляются у человека уже в постфетальный период онтогенеза. Насколько сложность морфологического строения соответствует функ- рецепторных приборов интрамуральных ганглиев, сказать затрудни-но, однако мы убедились в том, что нервные узлы мочевого пузыря

обладают на ранних стадиях эмбриогенеза более сложными чувствитель ными аппаратами, нежели другие ткани стенки этого органа.

На основании наших исследований можно сделать вывод, что у человек уже в период эмбриогенеза центральная нервная система при помощи аф ферентных волокон вступает в морфологические связи с интрамуральны ми ганглиями мочевого пузыря, т. е. с вегетативной нервной системой.

Сталинградский государственный
медицинский институт

Поступило
2 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] S. Michailow, Arch. f. mikr. Anat. u. Entwicklungsgesh., **72**, 554 (1908) [2] С. Михайлов, Арх. ветерин. наук, **2**, 160 (1908). [3] Ю. С. Слепков, ДАН **94**, № 3, 569 (1954).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГИСТОЛОГИЯ

А. Н. ЛИВЕН

МАТЕРИАЛЫ К ВОПРОСУ ОБ ИННЕРВАЦИИ ПИЩЕВОДА ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

(Представлено академиком К. М. Быковым 3 XII 1956)

Настоящая работа представляет первую попытку сравнительно-гистоического изучения нервной системы пищевода, именно афферентных и ферентных компонентов вегетативной иннервации; нас интересовали морогия интерорецепторов, характер нервных сплетений, морфология нерв клеток и сопровождающих элементов, межнейрональные синаптические зи и мио-невральные синапсы.

Исследование проводилось на форели (Salmo irideus), лягушке (Rana nporaria), черепахе (Testudo horsfieldi), курице (Gallus domestica), кош (Felis domestica) и человеке. Таким образом составился эволюционный : костистые рыбы — амфибии — рептилии — птицы — млекопитаюе — человек.

Работа проводилась методом импрегнации солями серебра по Бильвскому—Грос.

По нашим наблюдениям, у форели в стенке пищевода имеются адвентильное, межмышечное, подслизистое и слизистое нервные сплетения, обованные разветвляющимися и переплетающимися между собою тяжами, щина которых уменьшается в направлении от адвентициального к слитому сплетению. Нервные волокна в пучках располагаются рыхло. местах перекреста тяжей залегают ганглии, в которых сконцентрирована ьшая часть нервных клеток. Кроме того, нервные клетки располагаются ходу стволов и пучков, а также в прилежащей к ним соединительной ни. Наиболее крупные ганглии находятся в межмышечном сплетении, более мелкие — в подслизистом. Нервные клетки представлены в осном униполярными формами. Среди мультиполярных клеток встречаютформы, имеющие строение, сходное с клетками I типа Догеля. На крупх нейронах наблюдаются перицеллюлярные аппараты в виде петелек, лежащих к телу клеток под их капсулой. Стенка пищевода на всем ем протяжении, и особенно в мышечном слое, снабжена чувствительными вными окончаниями в виде кустиков и клубочков. На поперечнополоса мышечных волокнах наблюдаются двигательные нервные окончания, ющие строение, сходное с таковыми в соматической мускулатуре.

У лягушки в стенке пищевода, так же как и у форели, имеются четыре вных сплетения. Общая картина нервных сплетений сходна с тем, что людалось у форели,— она отличается в основном богатством нервных ментов. Нервные сплетения образованы относительно более крупными вными тяжами кабельного типа, в которых нервные волокна располатся более компактно, чем у форели. В нервных узлах, а также по ходу вных пучков и в прилежащей к ним соединительной ткани располагаютглавным образом униполярные и в незначительном количестве мультиярные клетки, имеющие строение, сходное со строением клеток I типа еля. На теле наиболее крупных нейронов наблюдаются перицеллюные аппараты в виде петелек. Стенка пищевода снабжена более много-

численными и сложно устроенными чувствительными окончаниями типа кустиков и клубочков.

У черепахи нервные сплетения пищевода образованы относительно еще более крупными нервными тяжами. В нервных узлах, а также по ходу нервных пучков и в незначительном количестве в прилегающей к ним соедини

Рис. 1. Межнейрональная связь. Ганглий межмышечного сплетения пищевода человека. Окраска по Бильшовскому — Грос. 280 ×; репрод. 3 : 4

тельной ткани располагаются главным образом униполярные клетки и в незначительном числе мультиполярные нейроны. Последние построению сходны в основном с клетками I типа Догеля, проявляя черты некоторого своеобразия, но среди них встречаются и типичные нейроны I типа Догеля. На нейронах наблюдаются более многочисленные, чем у лягушки, перицеллюлярные аппараты в виде петелек и колечек. Наблюдаемые нами в подслизистом слое пищевода рецепторы имеют вид кустиков и клубочков. В верхних отделах пищевода кустики более многочисленны, имеют меньшую величину и своеобразное ветвление. По направлению к желудку число кустиков снижается, а строение их становится более простым и однообразным. В верхней трети пищевода встречаются рыхлые клубочки различной величины.

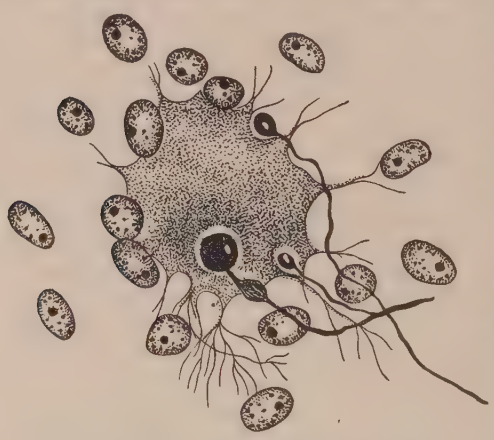


Рис. 2. Перицеллюрляный аппарат на теле клетки I типа Догеля. Ганглий межмышечного сплетения пищевода человека. Окраска по Бильшовскому — Грос. 400 ×; репрод. 7 :8

У птиц (курица) нервные сплетения пищевода значительно богаче нервными элементами по сравнению с черепахой. Нервные клетки, представленные своеобразными нейронами I типа Догеля, сконцентрированы главным образом в ганглиях, располагающихся в местах перекреста нервных тяжей. На телах и дендритах клеток I типа Догеля наблюдаются более многочисленные и сложноустроенные перицеллюлярные аппараты в виде петелек и колечек. Наблюдаемые нами в мышечном слое пищевода, на всем его протяжении, многочисленные чувствительные окончания имеют вид более сложно устроенных кустиков и клубочков, особенно в стенке зоба, где имеются «кольцевидные» рецепторы.

У кошки и особенно у человека нервные сплетения пищевода богаты ысокодифференцированными нервными элементами. Нервные клетки, предтавленные нейронами I типа Догеля, сконцентрированы в оформленные англии, залегающие в местах перекреста нервных тяжей. На рис. 1 видно, ак нейрит клетки I типа Догеля образует множественные коллатерали дна из которых образует перицеллюлярный аппарат, располагающийся на еле соседней клетки I типа огеля. На нейронах I типа Догеля наблюдаются ногочисленные и разнообразные перицеллюлярные аппараты. Последние в иде петелек, колечек и клубочков различной формы и величины прилежат телу и дендритам клеток. ейрофибриллярный остов ерицеллюлярных аппаратов окружен со всех сторон ерифибриллярным веществом. Последнее довольно асто образует вдавление а теле нервной клетки, тчетливо выделяясь своим ветлым венчиком на темном фоне тела ганглиозной летки (рис. 2). В ганглиях аблюдаются множественные синаптические связи вух нейронов I типа Догеля, образованные коллатералями аксонов клеток этого типа, оканчивающихся перицеллюлярными аппаратами на телах лизлежащих клеток, что видетельствует о существовании второго перерыва, отя это и противоречит учению Ленглея об однократности перерыва вегетативной нервной системе. Среди нейронов I типа Догеля встречаются чувствительные клетки спинального типа; дендриты их могут бразовывать рецепторы, а нейрит — вступать в синаптическую связь с ффекторным нейроном, образуя морфологический субстрат собственной ре-лекторной дуги вегетативной нервной системы. Стенка пищевода богата ногочисленными и разнообразными рецепторами. В слизистом слое а всем протяжении пищевода наблюдается подэпителиальное и эпителиальное чувствительное нервное сплетение. Последнее в области верхней трети пищевода состоит из неинкапсулированных клубочков ис. 3), а в области средней и нижней третей пищевода представлено главным образом чувствительными окончаниями типа кустиков различной ложности строения. В области верхней трети пищевода на поперечнополосатых мышечных волокнах наблюдаются многочисленные двигательные ервные окончания в виде моторных бляшек. Терминальные ветвления якотного волокна в подошве бляшки имеют вид разветвленных, сравнительно коротких образований, оканчивающихся в виде колечек среди ногочисленных специальных ядер подошвы (рис. 4).

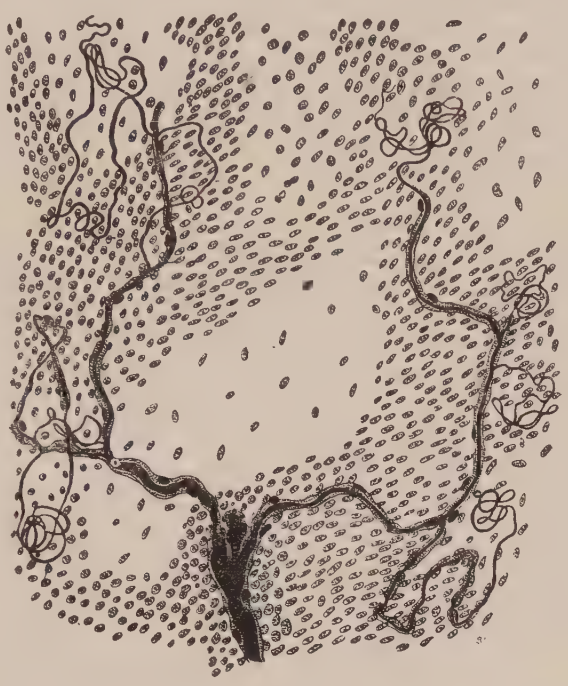


Рис. 3. Участок чувствительного нервного сплетения из эпителиального слоя верхней трети пищевода человека. Маленькие неинкапсулированные клубочки, образованные мякотными волокнами и располагающиеся в нижних слоях эпителиального пласта (занимающие площадь 875×755 μ). Окраска по Бильшовскому — Грос. 144 ×; репрод. 3 : 4

У представителей изучаемого нами ряда наблюдается последовательное богащение нервного аппарата пищевода нервными клетками, нервными

волокнами и глией. С повышением степени организации животных происходит концентрация нервных волокон в пучки кабельного типа, нервных клеток — в оформленные ганглии. В нервных сплетениях пищевода имеет место процесс прогрессивного преобразования нейронов в ходе эволюции от униполярных форм у рыб до высокодифференцированных нейронов I типа Догеля у человека. Перицеллюлярные аппараты в ходе эволюции развиваются и постепенно усложняются от простой петельки у низших позвоночных до клубочковой формы аппарата у млекопитающих и человека. Перицеллюлярные аппараты своим перифибриллярным веществом не сливаются с плазмой нейрона, а только соприкасаются с телом нервной клетки, что, кстати, является еще одним доказательством в пользу нейронной теории строения вегетативной нервной системы.

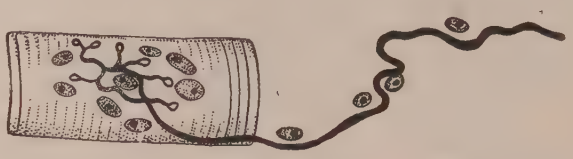


Рис. 4. Группа моторных нервных бляшек на поперечнополосатых мышечных волокнах из мышечного слоя верхней трети пищевода человека. Окраска по Бильшовскому—Грос. 280×

В исследуемом нами ряду, включающем представителей рыб, амфибий, рептилий, птиц, млекопитающих и человека, мы наблюдаем, как общее усложнение организации животного сопровождается прогрессивным развитием афферентной иннервации, идущим по пути все увеличивающейся дифференциации чувствительных окончаний и все большего насыщения ими тканей пищевода.

В сравнении с другими млекопитающими, поперечнополосатая мускулатура пищевода человека богаче дифференцированными моторными нервными бляшками. Последние у человека имеют сравнительно меньшие размеры, терминальные ветвления более многочисленны, но значительно более короткие и располагаются среди меньшего количества ядер подошвы.

Институт физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР

Поступило
29 XI 1956

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГИСТОЛОГИЯ

К. Г. ЩИТКОВ

ИЗМЕНЕНИЯ МОТОРНЫХ НЕРВНЫХ ОКОНЧАНИЙ В ПРОЦЕССЕ РАБОЧЕЙ ГИПЕРТРОФИИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 28 XI 1956)

Работами, особенно последних лет, установлено, что форма и сложность ифференцировки структур нервно-мышечного синапса зависит и обусловена как уровнем развития двигательной функции в онто- и филогенезе [1-4]), так и характером и интенсивностью функции исследуемых мышц ([5-8]).

Цель предлагаемой части работы состояла в том, чтобы выяснить некоорые стороны функциональной взаимосвязи нервной и мышечной систем процессе рабочей гипертрофии поперечнополосатых мышц.

Работа была проведена на белых крысах, преимущественно самцах, в возасте 55—65 дней. Хирургическим путем удалялась икроножная мышца е латеральная и медиальная головки). Этим достигалось увеличение рабоей нагрузки на ее синергистов в функции сгибания голеностопного суста — на подошвенную и камбаловидную мышцы (опытные мышцы).

Изменения в мышцах изучались на материале 7 сроков, начиная с 2 сок и кончая 73 днями после операции. Мышцы взвешивались и фиксировались в 12% растворе нейтрального формалина. Срезы импрегнировались отнокислым серебром по методу Бильшовского—Грос с последующим золоением и иногда подкраской золоченых срезов гематоксилином.

В результате чрезвычайно сильного возбуждения ткани опытных мышц оследние в значительной степени гипертрофировались, кроме того неколько увеличилось число составляющих их мышечных волокон.

Для количественной характеристики различий в степени иннервации олокон опытных мышц на различных этапах развития гипертрофического роцесса определялись: толщина мышечных волокон, общие размеры моторых бляшек, а также относительное количество таких необходимых компоентов бляшки, как ядра и нервные терминали.

На каждый отдельный срок было исследовано в среднем 50—60 моторых бляшек на препаратах мышц от 2—3 подопытных животных. Изучею во всех случаях подвергались только моторные бляшки центральной ннервационной зоны исследуемых мышц.

Рассмотрение приведенных цифровых данных (табл. 1) говорит о том, го гипертрофия сократимых элементов опытных мышц начинается раньше достигает наивысшей степени выражения в первые 10 дней после операции, е. в период, когда исследование не обнаруживает каких-либо заметных ризнаков усложнения структур иннервационных приборов этих мышц.

С увеличением срока опыта темпы гипертрофического процесса прогресивно падают, о чем можно судить на основании уменьшения показателей носительного прироста веса и площади поперечного сечения волокон пытных мышц. Эти показатели вычислялись по отношению к весу и к плоади сечения волокон одноименных симметричных мышц. Это явление бы поставлено нами в связь с быстрой гипертрофией мышечных волокон, оторая ведет к повышению физиологического поперечника опытных мышц, следовательно, и к нарастанию их силы. В результате нагрузка, падаюая на опытные мышцы, приводится во все большее соответствие с их ункциональными возможностями.

Таким образом, снижение темпов гипертрофического процесса представляет обратную сторону снижения его приспособительного значения в компенсации функции.

Гипертрофическое увеличение массы опытных мышц и повышение их функциональной активности должно обеспечиваться со стороны нервной системы и трофически и функционально, что и находит морфологическое выражение в прогрессивной морфофункциональной перестройке синапса.

Таблица 1

Изменение основных показателей моторной бляшки в процессе рабочей гипертрофии опытных и контрольных мышц

Послеоперационный срок, дни	Относительный прирост веса опытных мышц, %	Относительный прирост поперечного сечения волокон опытных мышц, %	Число изученных моторных бляшек	Показатель степени иннервации мышечных волокон	Число нервных терминалей в моторных бляшках	Число ядер в моторных бляшках
Подошвенная мышца						
Опыт						
5	50,0	67,4	52	17,5	6,4	10,1
10	122,0	59,4	45	18,6	6,8	9,7
15	—	—	60	18,8	7,5	9,9
21	128,7	61,5	58	19,0	7,9	9,9
30	96,1	79,0	60	20,2	8,6	10,2
43	—	—	58	21,6	9,7	11,8
73	84,8	126,3	65	22,5	11,6	14,1
Контроль						
5	—	—	30	14,9	6,5	9,0
15	—	—	52	13,8	7,0	9,5
73	—	—	48	15,7	6,6	7,2
Камбаловидная мышца						
Опыт						
5	29,4	—	50	19,0	7,0	12,0
10	31,0	—	54	19,6	7,4	9,5
20	38,1	—	46	20,3	8,6	10,0
30	48,1	—	52	23,7	8,8	10,5
42	—	—	60	25,8	12,3	13,0
73	21,1	—	65	26,4	12,4	17,3
Контроль						
7	—	—	30	17,8	6,8	9,0
20	—	—	40	18,4	7,0	10,6
73	—	—	32	25,4	8,0	12,0

Усложнение двигательного прибора мышц идет в направлении повышения всех его количественных показателей. Так, с увеличением послеоперационного срока общие размеры моторной бляшки растут, что сказывается в увеличении показателя степени иннервации мышечных волокон. Этот показатель определялся нами как отношение площади бляшки к толщине мышечного волокна (см. табл. 1). Изменение размеров моторной бляшки и увеличение числа ядер отмечается уже через 5 дней после начала опыта. В то же время, незначительное увеличение числа нервных волоконец в бляшке мы смогли констатировать лишь на 10 день. Следовательно, укрупнение размеров моторной бляшки в ходе гипертрофии мышц предшествует ее усложнению. Увеличение размеров моторной бляшки сначала идет путем роста и удлинения образующих ее нервных волокон (бляшка как бы растекается по волокну, без своего заметного усложнения), а затем и за счет увеличения их числа. Однако, не всегда увеличение количества нервных терминалей и ядер ведет к увеличению площади моторной бляшки. Часто менее разветвленные формы бляшек занимают бóльшую площадь, чем формы с сравнительно большим количеством нервных разветвлений.

В изменении размеров бляшки также имеет значение увеличение количества ядер. На стадиях 43 и 73 дней среди последних начинают преобладать ядра овальной (более зрелой) формы (число овальных ядер примерно в 3—4 раза больше числа круглых). С увеличением срока опыта средние размеры ядер уменьшаются и на стадии 73 дней составляют 94,4% от стадии 5 дней. Можно отметить, что число и размеры ядрышек ядер моторных бляшек несколько увеличены. Это проявляется более отчетливо на ранних стадиях процесса гипертрофии бляшек (10—30 дней). Уменьшение размеров

ядер при значительном увеличении их числа обусловливает рост общей поверхности ядер, что не может не иметь существенного значения для протекания процессов обмена веществ в интенсивно работающей двигательной

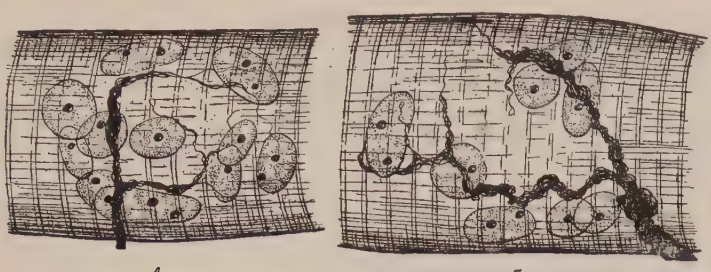


Рис. 1. Моторная бляшка из подошвенной мышцы крысы. Гематоксилин Рего. *А* — опыт, 10 дней после операции; *Б* — контроль, 73 дня после операции

пластинке. Это находится в соответствии с известным положением, по которому синапс является тем участком волокна, в котором при переходе возбуждения с нерва на работающую мышцу в последней происходят глубокие и наиболее ранние изменения метаболизма.

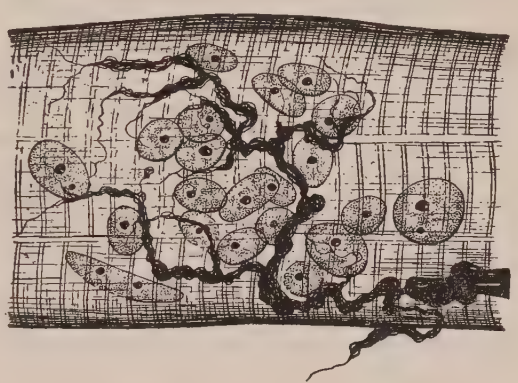


Рис. 2. Моторная пластинка из опытной подошвенной мышцы крысы. 73 дня после операции. Гематоксилин Рего

Разволокнение (фибрилярность) нервных ветвей в бляшке, увеличение числа нервных терминалей, нарастание числа ядер при уменьшении их размеров, увеличение специфической протоплазмы между ними — все вместе обусловливает прогрессивное развитие моторного аппарата гипертрофирующихся мышц. Двигательные пластинки принимают все более разветвленную, сложную форму, все более причудливым становится ход нервных волокон (рис. 2, 3).

Можно отметить определенную закономерность во взаимоположении основных структур моторной пластинки — конечных нервных волоконец и ядер. Эта закономерность выражается в том, что конечные волоконца бляшки в большинстве случаев расположены так, что направление большей части последних на данном участке бляшки совпадает. В результате образуется один или несколько пунктов в бляшке с преимущественной концентрацией мест контакта нервных волоконец (в форме свободного конца, петельки или пуговки) с сократимым веществом мышечного волокна. Отмеченная закономерность становится все более очевидной с увеличением срока опыта и с укрупнением моторных бляшек. Ядра располагаются преимущественно вдоль основных наиболее фибриллярных нервных стволов, образующих как бы «каркас» моторной пластинки, и в местах (и по направлениям) концентрации нервных терминалей, т. е. в тех точках бляшки, где, по-видимому, наиболее активно изменяется метаболизм.

Таким образом, весь ход приспособительного усложнения моторной пластинки направлен на увеличение поверхности «соприкосновения» нервно-ядерных структур синаптического аппарата с иннервируемой тканью. В этой связи особый интерес представляют исследования В. В. Португалова (9),

изучавшего распределение в элементах нервной ткани химически активных веществ (холинэстеразы, фосфотаз и др.), служащих источником их для специфической деятельности. Португалов установил, что эти активные вещества преимущественно концентрируются в элементах швановской глии моторной бляшки, где, по-видимому, и происходит трансформация нервного импульса.

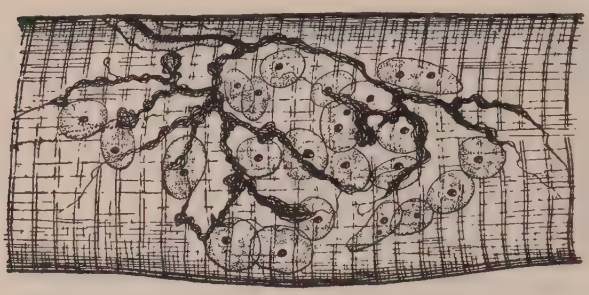


Рис. 3. Моторное нервное окончание из опытной камбаловидной мышцы. 73 дня после операции. Гематоксилин Рего

Увеличение поверхности нервно-ядерных структур моторной бляшки означает нарастание величины швановского симпласта, а следовательно, количества и концентрации в бляшке ферментоактивных веществ. Это, по-видимому, должно способствовать более энергичной и быстрой трансформации нервного импульса в мышечное сокращение.

Нужно отметить, что моторные бляшки камбаловидной мышцы уже и в норме отличаются значительно большей сложностью расположения и количеством своих структур по сравнению с моторными бляшками подошвенной мышцы. Это связано с преимущественно статической функцией этой мышцы, а из работы ([6]) известно, что мышцы статического типа деятельности обладают более мощно развитыми моторными аппаратами.

С увеличением срока опыта происходит усложнение моторных бляшек камбаловидной мышцы, но поскольку основную роль в компенсации измененной нагрузки на сгибательный комплекс голени играет подошвенная мышца, то и выражено это сравнительное усложнение моторных бляшек в камбаловидной мышце слабее и развивается оно в основном по линии укрупнения размеров бляшки.

Отсутствие видимого морфологического эквивалента повышения активности синапса в начальный период, период наиболее интенсивной гипертрофии, по-видимому, связано с таким фактором, как высокие функциональные возможности синапса, позволяющие компенсировать возросшие к нему требования со стороны мышечных волокон в пределах имеющихся морфологических структур. Здесь необходимо также учитывать повышение функциональной активности системы мотонейронов спинного мозга. Однако это вопрос, требующий специального исследования.

В заключение можно сказать, что прогрессивная морфо-функциональная перестройка иннервационного прибора мышц, развиваясь как фактор дальнейшего приспособления трофики и функции гипертрофирующихся мышц к новым условиям нагрузки и работы, одновременно является так же и фактором дальнейшего снижения темпов гипертрофического процесса.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова

Поступило
27 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] З. П. Игнатьева, Тр. Инст. морфол. жив. им. А. Н. Северцова, в. 11 (1954) [2] Л. Ф. Мавринская, Тр. 5 Всесоюзн. съезда анат., гистол. и эмбр. (1949). [3] Н. А. Черногрядская, Сравнительногистологическое исследование двигательных нервных окончаний в соматической мускулатуре позвоночных, Автореферат диссертации, Ленигр. гос. унив. им. А. А. Жданова, 1952. [4] В. С. Чикунова, ДАН, 94, № 2 (1954). [5] А. К. Ковешникова, Изв. Ест.-научн. инст. им. П. Ф. Лесгафта, 26 (1954). [6] А. К. Ковешникова, Там же. [7] Е. С. Яковлева, Там же. [8] Л. И. Фалин, Арх. биол. наук, 49, в. 2 (1938). [9] В. В. Португалов, Тез. докл. Всесоюзн. совещ. по нейроморфологии, 1952.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ГЕНЕТИКА

М. КЛЮЧАРЕВА

ВЫЯСНЕНИЕ ПУТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ФОРМ МАТЕРИНСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТЬЮ ПРИ СКРЕЩИВАНИЯХ РЖИ С ПШЕНИЦЕЙ

(Представлено академиком Т. Д. Лысенко 29 VI 1956)

В своей работе мы исходили из положения Т. Д. Лысенко о том, что жизненность и наследственность представляют собой хотя и взаимосвязанные, разные свойства организма. В природе процессы создания жизненности наследования идут почти нераздельно. В эксперименте можно разделить два процесса и вызвать развитие зародыша без слияния яйцеклетки со спермием. Нам удалось достигнуть этого путем кастрации цветков ржи и опыления их пыльцой таких видов растений, трубки которых не попадают в зародышевый мешок и слияние гамет не происходит. Рожь опыляли пыльцой лилии, настурции, томата, гороха и более близкого вида — пшеницы. В небольшом количестве получены зерна, из которых развились растения, ничем не отличающиеся от исходной материнской формы. Подсчет хромосом в клетках корешков показал диплоидный их набор.

В обширной литературе по межвидовой гибридизации растений описано много случаев получения при отдаленных скрещиваниях, наряду с гибридными формами и форм чисто материнских. Эмбриологических работ, которые могли бы пролить свет на природу образования материнских форм при межвидовых скрещиваниях, проведено очень мало, и вопрос о том, как именно они получаются, остается до сих пор нерешенным.

В данной статье мы приводим эмбриологические исследования ржи, опыленной пшеницей. Материал фиксировался каждый час до 18 час., затем каждые два часа до 48 час., а в дальнейшем на 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9 сутки.

Исследования показали, что пыльцевые трубки в столбике прорастают, вскоре приостанавливают свой рост, лопаются и в семяпочку не попадают. Несмотря на это, действие пыльцы на рыльца передается по столбику в глубь семяпочки к зародышевому мешку. В результате этого семяпочка и завязь сильно разрастаются. Увеличивается полость зародышевого мешка.

Через 15—30 час. после нанесения пыльцы в 600 семяпочках (из 816 исследованных) оказались изменения, которые являются следствием процессов, ведущих (рано или поздно) к отмиранию; на этих семяпочках мы останавливаться не будем. Представляют интерес те семяпочки, в которых изменения ведут к развитию. Изменения эти начинаются в зародышевом мешке и заключаются прежде всего в том, что в ядрах синергид появляются вещества, красящиеся основными красителями (рис. 1 *а*). Вещество ядра, которое по своей консистенции является более плотным, чем плазма, вязким, под действием чужой пыльцы начинает перестраиваться, распадаться на отдельные капельки — глыбки. Эти капельки позже приобретают способность воспроизводить самих себя — нарастать и размножаться (рис. 1 *б*). Глыбки имеют ту же природу, что и любой хроматин в клетках, ибо окрашиваются они теми же основными красителями, что и хроматин ядра и, кроме того, дают положительную реакцию по Фельгену.

Через 30—40 час. после опыления синергиды бывают заполнены этими глыбками. После разрыва синергид глыбки окружают яйцеклетку, прилипают к ее оболочке и входят в яйцеклетку (рис. 1 *в*).

В дальнейшем хроматиновые глыбки, находящиеся в яйцеклетке, бле
неют, теряют хроматин, уменьшаются в размере, как бы тают и затем по
ностью исчезают.

Рис. 1. Верхняя часть зародышевого мешка ржи: *а* — через 15 час. после опыления пыльцой пшеницы. Ядра синергид образуют глыбки; *б* — то же через 20 час. после опыления; *в* — то же через 48 час. после опыления. Хроматиновые глыбки входят в яйцеклетку

По нашим предположениям, они ассимилируются яйцеклеткой и, с од
ной стороны, дают стимул к жизни, к развитию ее в зародыш, с другой —
являются тем питательным материалом, который идет на построение зиготы

Рис. 2. Метафазные пластинки с одного и того же зародыша с гаплоидным (*а*) и диплоидным (*б*) набором хромосом

Через 50—60 час. после опыления в тех зародышевых мешках, где происходит рас пыление и преобразование ядер синергид яйцеклетки увеличиваются, в ядрах на блюдается накопление хроматина. На 3 сутки образуется зигота. Первые 3 суток после нанесения пыльцы все процессы в за родышевом мешке идут намного медлен нее, чем у обычной контрольной ржи при естественном ее опылении. На 4 сутки после нанесения чужой пыльцы начинает ся быстрое развитие тех немногих яйце клеток, которые дадут начало зародышу. На 5 сутки зародыш разрастает ся, становится вытянутым, многоклеточным, на 6—7 сутки идет диффе ренцирование, а на 9 сутки зародыши вполне развиты.

Большинство исследованных зародышей имеют диплоидное число хро мосом. Но наряду с диплоидными встречаются и мозаичные, т. е. зароды ши, имеющие клетки с гаплоидным ($2n = 7$) (рис. 2 *а*) и диплоидным ($2n = 14$) (рис. 2 *б*) набором хромосом. Клетки с гаплоидными ядрами обычн

полагаются ближе к микропиле. В растущей верхней части зародыша етки, как правило, диплоидные.

Мозаичность заметна на ранних фазах развития. На более поздних фа- — на 8—9 день после нанесения пыльцы, в сформированном зародыше а с гаплоидным числом хромосом нами не обнаружены.

Наличие гаплоидных ядер в зародыше говорит о том, что развитие яйце- етки в зародыше не всегда начинается с диплоидным набором. Яйцеклет- с гаплоидным набором также может начать развиваться в зародыш. Дип- идность возникает по мере развития зародыша.

На примере многих работ можно показать, что зародыши могут начать е развитие как с диплоидным, так и с гаплоидным набором хромосом и во многих случаях при активации яйца деление начинается с гаплоид- м набором, и только в процессе развития уже идет удвоение числа хро- сом. Если яйцеклетка получит стимул к развитию, станет способной к син- у, к ассимиляции, накоплению, то она будет в состоянии и воспроиз- сти то количество хроматина, которое свойственно данному виду. До лодотворения яйцеклетка неспособна к синтезу. Начало жизненного про- сса, ведущего к развитию ее в зародыш, заключается в появлении в ней особности синтезировать, накапливать те или иные вещества, в первую ередь хроматиновые.

Наши опыты показывают, что при опылениях пыльцой далеких видов ворить о взаимной ассимиляции или поглощении не всегда можно. При ычном оплодотворении, т. е. внутривидовых скрещиваниях происходит, нечно, взаимная ассимиляция мужских и женских элементов, здесь же жет быть и поглощение одного из компонентов, участвующих в скрещи- нии. При далеких скрещиваниях происходит. по-видимому, изменение ла яйцеклетки — создание разнокачественности не путем слияния двух зличающихся тел, а путем действия на яйцеклетку продуктов пыльцевых ен. Возможно, что через посредство рылец и столбика происходит обмен ществ, подобно тому, как происходит ассимиляция пластических веществ и вегетативной гибридизации. При активизации яиц рыб, тутового шел- пряда и др., когда слияние яйцеклетки со сперматозоидом не происходит, развитие зародыша идет, разнокачественность яйцеклетки создается не- средственно воздействием или чужой спермы или определенных внешних ловий (высокая температура, холод, кислота и др.). В этих условиях од- родность (однокачественность) тела яйцеклетки нарушается и создается знокачественность, которая и ведет к саморазвитию. В данном случае зличными причинами может быть вызвано одно и то же следствие — само- звитие, которое потом обязательно включает условия внешней среды.

Вышеизложенный фактический материал показывает, что в зародышевом шке ржи под действием пыльцы пшеницы, наносимой на рыльце кастри- ванных цветков, происходят процессы, ведущие во многих случаях к пе- стройке, дедифференцировке ядерного комплекса синергид. В результате ой перестройки из ядер синергид образуются хроматиновые глыбки, особные к нарастанию, к размножению. Синергиды благодаря этому ста- вятся качественно иными. Содержимое синергид (глыбки, плазма), из- ваясь в зародышевом мешке, обволакивает яйцеклетку, входит в ее плаз- и ядро и вызывает в ней оплодотворение.

Все это говорит о том, что у растений при нормальном опылении следует зличать два процесса: с одной стороны, оплодотворение, как процесс здания разнокачественности живого тела, и с другой,— наследование, е. смешение веществ организмов (отцовских и материнских) с определен- й наследственностью.

В нашем опыте мы разделили эти процессы и вызвали оплодотворение цеклетки без слияния ее со спермием, т. е. без внесения отцовского на- ла. В результате этого развились растения материнского типа.

Институт генетики
Академии наук СССР

Поступило
15 VI 1956

Заказ. 1212

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. Я. БЕРЕЗОВСКИЙ и В. Ф. КУРОЧКИНА

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ 2,4-ДИХЛОРФЕНОКСИУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА ПОСТУПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ P^{32} В РАСТЕНИИ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 28 VII 1956)

За последние годы накопилось немало данных о влиянии физиологически активных веществ на поступление элементов питания в растения.

Установлено ([1-3]), что вещества типа ауксинов в стимулирующих концентрациях усиливают приток питательных веществ и их перераспределение внутри растения. Одновременно было подмечено ([4-6]) замедление поглощения солей с увеличением концентрации активных веществ выше известного предела.

Обращает, однако на себя внимание противоречивость приводимых данных. В одних случаях активные вещества в токсических концентрациях вызывают снижение содержания элементов питания растений в целом; в других — отмечается их уменьшение в отдельных органах за счет перераспределения внутри растения; в третьих — указанных изменений не наблюдается.

В нашей работе, выполненной с применением изотопной методики, мы изучали влияние 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты в повышенных (токсических) концентрациях на поступление и распределение фосфора в растении.

Мы провели вегетационные опыты (почвенные культуры) с подсолнечником — сорт «Черпянка 11», — культурой весьма чувствительной к 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоте (2,4-Д). Молодые растения в фазе трех пар листьев в одной серии опытов опрыскивались водным раствором натриевой соли 2,4-Д; в другой серии препарат вносился в почву. Через три дня после применения гербицида был внесен радиоактивный фосфор P^{32} в форме водного раствора NaH_2PO_4. При этом меченый фосфор вносился с поливной водой в почву по 18 μCu на сосуд. В некоторых вариантах радиоактивный раствор фосфата с помощью микропипетки наносился в виде капелек на верхнюю сторону одного из листьев третьего яруса ближе к основанию листа по 2,5 μCu на растение. Через 3 и 8 суток после внесения меченого фосфора растения убирались и в пробах (навески измельченного сухого вещества) определялась радиоактивность. Кроме того, методом химического анализа определялось содержание общего фосфора в растениях.

Во всех опытах, проведенных нами в 1954 и 1955 гг., отмечалось ингибирующее действие 2,4-Д на поглощение растением фосфора (табл. 1).

Торможение поступления фосфора в растение отчетливо наблюдается как при обработке гербицидом надземной части растений, так и при внесении его в зону корневой системы. При этом подавляется поглощение фосфора корнями и задерживается его поступление при нанесении раствора на листья.

Размер торможения зависит от количества 2,4-Д, поступившего в растение. Чем выше концентрации раствора гербицида при опрыскивании им растений или чем большая доза вносится в почву, тем сильнее подавляется поступление фосфора в растения. Так, в одном из опытов содержание ме-

ченого фосфора на 100 мг сухого вещества составило: 77,4% к контролю при дозе 0,05 мг 2,4-Д на 1 кг почвы, 47,2% при дозе 0,1 мг/кг и 34,1% при дозе 0,5 мг/кг. Увеличение дозы гербицида до 5 мг на 1 кг почвы почти полностью приостановило поступление фосфора, и оно составило лишь 6,7% от контроля.

Таблица 1

Поступление меченого фосфора в подсолнечник (через 72 часа после внесения P^{32})

	Внесение P^{32} в зону корней			Нанесение P^{32} на лист		
	сухой вес 1 растения в г	активность, тыс. имп/мин.		сухой вес 1 растения в г	активность, тыс. имп/мин.	
		на 1 растение	на 100 мг сух. вещества		на 1 растение	на 100 мг сух. вещества
Контроль	3,13	82,6	2,67	2,97	91,2	3,07
Опрыскивание растений 2,4-Д (0,025%)	2,81	50,2	1,78	2,84	79,6	2,80
В % к контролю	89,8	60,8	66,6	95,6	87,2	91,2
Внесение 2,4-Д в почву (5 мг/кг)	2,77	4,9	0,18	2,20	35,8	1,63
В % к контролю	88,5	5,9	6,7	73,9	39,2	53,1

Второй общей чертой, характерной для действия 2,4-Д, является то, что вызываемое им торможение поступления и накопления фосфора выражено сильнее, чем подавление образования органического вещества. Это приводит к отставанию в содержании фосфора и на единицу сухой массы растений.

2,4-Д вызывает заметные отклонения от нормы в распределении поступившего фосфора по различным тканям и органам (табл. 2).

Таблица 2

Содержание меченого фосфора на 100 г сухого вещества в разных органах подсолнечника) через 72 часа после внесения P^{32}) (тыс. имп/мин.)

	В верхушках	В листьях	В стеблях	В корнях
Контроль	4,61	2,77	1,81	3,37
Опрыскивание растений 2,4-Д (0,025%)	2,69	1,95	1,20	2,36
В % к контролю	58,5	70,4	66,3	70,0
Внесение 2,4-Д в почву (5мг/кг)	0,03	0,06	0,04	1,20
В % к контролю	0,66	2,17	2,21	35,6

Подавление накопления меченого фосфора сильнее проявляется в более молодых органах. Как показывают наши данные, 2,4-Д вызвал наибольшее торможение в накоплении меченого фосфора в верхушечной части растений. Отмечается также, что в листьях разного возраста эффект торможения тем сильнее, чем моложе листья. Так, по данным другого нашего опыта, содержание меченого фосфора в листьях третьего яруса снизу составляло 59,7% по сравнению с контролем, а в листьях четвертого яруса — 44,7%.

Необходимо отметить существенное различие в накоплении меченого фосфора в надземной части и в корнях в зависимости от путей поступления 2,4-Д в растение. Имеются основания предполагать, что большую роль играет здесь то обстоятельство, на какой орган в первую очередь и в какой степени 2,4-Д оказывает токсическое действие.

Физиологически активные вещества, как известно, характеризуются высокой подвижностью. Они легко перемещаются внутри растения. Однако, как показали опыты со стимуляторами роста, меченные радиоактивным изотопом ([7-9]), физиологически активные вещества типа 2,4-Д распределяются по различным органам и тканям неравномерно. При нанесении

2,4-Д на поверхность листа значительная часть вещества концентрируется в точках роста надземных органов растения и меньше поступает в корни. При поступлении же вещества через корни оно, естественно, в течение определенного периода сосредоточивается больше всего в корнях. Поэтому, наряду с неодинаковой чувствительностью различных тканей и органов к веществам типа 2,4-Д, большое значение имеет явление неравномерного распределения последних. Сила ингибирующего действия 2,4-Д на поступление элементов минерального питания в корни и надземные части растения будет в значительной мере определяться тем, где больше 2,4-Д накопился в настоящий момент.

Таблица 3

Распределение меченого фосфора в растении (в % к общему содержанию меченого фосфора)

	Внесение P^{32} в зону корней		Нанесение P^{32} на лист	
	надземная часть	корни	надземная часть	корни
Контроль	79,2	20,8	85,9	14,1
Опрыскивание растений 2,4-Д (0,025%)	90,9	9,1	91,5	8,5
Внесение 2,4-Д в почву (5 мг/кг)	23,9	76,1	91,1	8,9

Опыт с применением меченого фосфора при разных способах внесения 2,4-Д подтверждает высказанное положение (табл. 3).

При поступлении 2,4-Д в растение через корни, последние поражаются относительно сильнее и не только теряют способность нормально поглощать фосфор из почвы, но прочнее удерживают уже поступивший фосфор, препятствуя его перемещению в стебли и листья. Иначе обстоит дело при введении гербицида через листья. Токсическое воздействие на корни в этом случае выражено слабее, вследствие чего основная масса поглощенного корнями фосфора слабее удерживается в корнях и она передвигается в надземные органы.

Правильность приведенных соображений подтверждается данными о внекорневом внесении фосфора, когда корни не являются источником снабжения меченого фосфора, и поэтому явление удерживания корнями поступившего меченого фосфора не имеет места. В этих условиях, как видно из табл. 3, распределение меченого фосфора в растении при обоих способах введения гербицида было одинаковым.

Таблица 4

Изменение ингибирующего действия 2,4-Д (в % к контролю)

Число дней после применения 2,4-Д	Высота растений	Сухой вес растений	Меченый фосфор на 100 мг	
			сухого вещества	P_2O_5
6	97,8	89,3	67,5	60,0
11	92,9	73,5	84,0	76,6

Подавление поглощения и распределения фосфора в растении под действием 2,4-Д носит временный характер. Через короткий срок, измеряемый днями (его продолжительность зависит от концентрации 2,4-Д и от условий роста растений), отмечается восстановление нормальных процессов поступления и передвижения фосфорных соединений. Это явление нередко имеет место и в тех случаях, когда подавление других физиологических процессов не ослабевает, а усиливается.

На 11 день после применения 2,4-Д эффект торможения роста подсолнечника увеличился с 2,2 до 8,1% к контролю, а интенсивность подавления образования сухого вещества соответственно возросла с 10,2 до 26,5%. Что касается ингибирования поступления фосфора, то здесь наблюдалась обратная тенденция. В результате этого содержание меченого фосфора на единицу сухой массы и удельная активность оказались ближе к контролю во втором периоде, чем в первом. Этим, возможно, и объясняются противоречия между данными различных исследователей о влиянии физиологически активных веществ на содержание зольных элементов и, в частности,

фосфорных соединений в растениях. Так как подавление поступления фосфора в растение носит в известной мере обратимый характер, то изменение его содержания может быть обнаружено только при определенных условиях.

Таким образом, как показывают опыты с меченым фосфором, 2,4-Д в токсических коцентрациях обусловливает временное нарушение в поступлении, накоплении и передвижении фосфора в растении. Это нарушение является одним из звеньев патологических изменений обмена веществ, вызываемых токсикантом.

Московская сельскохозяйственная академия
им. К. А. Тимирязева

Поступило
20 III 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] N. W. Stuart, Bot. Gaz., **100**, 298 (1938). [2] Н. А. Максимов, Усп. совр. биол., **22**, № 2 (1946). [3] Н. И. Якушкина, Тр. Инст. физиол. раст. им. К. А. Тимирязева АН СССР, **6**, в. 1 (1948). [4] A. Rhodes, W. G. Templeman, Nature, **160**, № 4076 (1947). [5] J. F. Nance, Science, **109**, № 2825 (1949). [6] И. И. Гунар, Е. Е. Крастина, К. А. Брюшкова, ДАН, **84**, № 1 (1952). [7] J. W. Mitchell, J. W. Wood, W. C. Wolf, G. W. Irving, Science, **106**, 395 (1947). [8] R. W. Holley, F. P. Royle, D. B. Hand, Arch. Biochem., **27**, № 1 (1950). [9] Ю. В. Ракитин, А. В. Крылов, Физиол. раст., **1**, № 2 (1954).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Академик АН УССР П. А. ВЛАСЮК, Г. В. ПОРУЦКИЙ,
С. В. ЧЕРЕДНИЧЕНКО и С. Н. ДОЛГИЙ

ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ НА ПОВЫШЕНИЕ ВСХОЖЕСТИ СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА

В наших опытах по некорневой подкормке растений, применяя подкормку растворами фитогормонов, микроэлементов и радиоактивных веществ ([2]) нам удалось, используя избирательные свойства растения дать возможность семенам пополнить комплекс питательных и гормональных веществ. Дополнительное питание (некорневая подкормка) растворами физиологически-активных веществ по фазам роста изменяет жизнеспособность растений — энергию прорастания, интенсивность роста, устойчивость против заморозков и болезней ([2]). Исходным пунктом для оценки значения физиологически-активных веществ, в том числе и микроэлементов, должно служить свойство растений использовать элементы питания в соотношениях, близких к их содержанию в семени. Некорневая подкормка радиоактивными элементами создает новые условия для использования растением отдельных элементов среды ([7, 8]), в том числе и для более активного использования элементов питания: подкормки в дозах, превышающих содержание радиоактивных веществ в семени, нередко снижают качество семенного материала и вызывают вредоносные мутации, в частности лишающие растение способности синтезировать тиамин ([6]).

Таблица 1

Влияние некорневой подкормки на всхожесть, энергию прорастания семян и содержание в них тиамина

Варианты	Всхожесть, семян в %	Энергия, прорастания в %	Содержание тиамина в γ/г
Озимая пшеница			
Вода	90	74	1,9
Стабильный фосфор	90	78	1,7
Радиоактивный фосфор	90	84	1,7
Кукуруза			
Вода	85	70	2,1
Тиамин	89	80	2,7
Радиоактивный тиамин	84	76	—

Для проверки этого положения в лаборатории физиологии действия ядерных излучений на растения Института физиологии растений и агрохимии АН УССР и в зерносовхозе «Шахтер» Сталинской обл. были проведены испытания посевных качеств семян озимой пшеницы и кукурузы (F_1) в зависимости от подкормки физиологически-активными веществами в период цветения. Для некорневой подкормки использовались растворы тиамина (0,005%), радиоактивного тиамина (2,5 μCu на 1 растение), стабильного фосфора и радиоактивного фосфора (10^{-4} μCu на 1 растение, что составляло 0,3 м Cu на 1 га). Опрыскивание производилось с самолета или тракторным опрыскивателем «Заря» из расчета 200—400 л раствора на 1 га. Размеры учетных опытных делянок в полевых опытах были 50 м², а в производственных испытаниях 3—10 га.

Определялась всхожесть семян кукурузы и озимой пшеницы, начиная с периода восковой спелости, энергия прорастания, содержание тиамина и биоэлектрические свойства, изменение которых лучше всего определяет степень жизненности растительных организмов ([10]).

Как видно из табл. 1, некорневая подкормка радиоактивным фосфором и тиамином значительно повышает энергию прорастания семян, что связано с ускорением созревания и ранним наступлением физиологической зрелости зерна кукурузы. Это подтверждается также укорочением времени компенсации ([5]) возникшей э. д. с. (табл. 2).

Таблица 2

Влияние некорневой подкормки на состояние биоэлектрического потенциала в семенах

Варианты	Фазы созревания	Вес зерна, в мг	Энергия прорастания, в %	Повторное раздражение	
				э. д. с. в мв	время компенсации э. д. с. в мин.
Вода	Восковая спелость	180	23	—8,6	60
	Полная спелость	280	70	—15,6	40
Радиоактивный тиамин	Восковая спелость	214	56	—18,2	50
	Полная спелость	302	82	—11,2	10

Биоэлектрический потенциал растительной ткани регистрировался с помощью зеркального гальванометра (чувствительность $2{,}1 \cdot 10^{-9}$ а на 1 мм), и высокоомного потенциометра постоянного тока (тип ППТВ-1), а также с помощью катодного осциллографа ЭО-7, и записывающего прибора с применением неполяризующихся электродов конструкции Н. Г. Холодного и платиновых электродов ([12]). Величины изменений электрической реакции растений во всех вариантах опыта находились в зависимости от силы раздражения. Биоэлектрическая реакция растительной ткани при этом не была строго местной ([4, 9]). Величина ее составляла (в среднем) 30—40 мв при расстоянии между электродами 6—8 мм) *.

Характер изменения местного биоэлектрического потенциала у проростков кукурузы показал четко выраженную зависимость от коэффициента полярности. Первоначально в ответ на слабое электрическое раздражение (10—20 мв) растительная ткань заражалась положительно. Положительный потенциал достигал при этом 6—10 мв. Дальнейшее усиление раздражения приводило к появлению отрицательного потенциала ткани, величины которого существенно различались в зависимости от степени зрелости зерна. В фазе восковой зрелости зерна абсолютная величина отрицательного потенциала ткани значительно превосходила величину положительного потенциала. С наступлением физиологической зрелости зерна, особенно при воздействии радиоактивным тиамином, отрицательная реакция проявлялась значительно слабее. Само раздражение способствовало ускорению физиологических процессов в клетках, направленных на возвращение к прежнему состоянию покоя ([3]). Укорочение времени восстановления изменения биоэлектрического потенциала по Костычеву и Венту в

* Что приближается к величине реакции вегетативных нервов позвоночных животных ([13]).

варианте с радиоактивным тиамином, так же как и сохранение растением нормальной способности к синтезу тиамина, свидетельствуют об отсутствии каких-либо вредных мутаций в результате применения радиоактивных веществ в дозах, близких к естественному содержанию их в семени. Показатели радиоактивности зерна в вариантах с радиоактивным тиамином, определявшиеся на торцовом счетчике МСТ-17, составляли 14 и 126 имп/мин на 1 мг золы над фоном 14 имп/мин.

Институт физиологии растений
и агрохимии
Академии наук УССР

Поступило
4 V 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] E. L. Brcazeale, W. I. McGeorge, Soil Sci., 80, № 5 (1955). [2] П. А. Власюк, Г. В. Поруцкий, Изв. АН СССР, сер. биол., № 1 (1956). [3] Д. Г. Квасов, Зап. ЛГУ, сер. биол., № 6 (1949). [4] B. Ehrenberg, Bot. Not., 108, № 2 (1955). [5] С. П. Костычев, Ф. Вент, Физиология растений, 2, 1933. [6] J. Sacks, Isotopic traces in Biochemistry and Physiology, N. Y., 1953. [7] Т. Д. Лысенко, Изв. АН СССР, сер. биол., № 1 (1956). [8] И. В. Мичурин, Избр. произв., 1948. [9] B. I. Scott, A. L. McAuloy, P. Jeyes, Austral. J. Biol. Sci., 8, № 1 (1955). [10] К. А. Тимирязев, Собр. соч., т. 7. [11] А. А. Ухтомский, Проблемы физиологии и медицины, 1955. [12] М. А. Хведелидзе, Тр. Тбил. бот. инст., 16 (1954). [13] Н. Г. Холодный, Журн. Инст. бот. АН УССР, № 7 (1935).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

М. А. ИЛЬИНСКАЯ-ЦЕНТИЛОВИЧ и Б. П. ГУРЬЕВ

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТЕБЛЯ У СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СВЯЗИ С ПОЛЕГАНИЕМ

(Представлено академиком Н. В. Цициным 13 X 1956)

Как известно, полегание сортов озимой пшеницы зависит как от природы сорта, так и от условий произрастания ([1–5]).

Нами были проведены опыты по изучению динамики формирования стебля некоторых сортов озимой пшеницы, поставленных в различные условия выращивания. Исследования проводились в 1955 и 1956 гг.

Для опыта 1955 г. были использованы сорта: Одесская 3 (сорт полегающий), Лютесценс 266 (среднеполегающий) и Лютесценс 238 (слабополегающий). Опыт проводился в условиях опытного поля учебного хозяйства Харьковского сельскохозяйственного института им. В. В. Докучаева, расположенного вблизи г. Харькова.

Для создания различий в условиях произрастания производились весенние подкормки: в одном случае — сульфат-аммонийная (60 кг действующего начала на 1 га) и в другом случае — фосфорнокалийная (45 кг действующего начала на 1 га). Посев указанных вариантов произведен полной нормой высева семян. Кроме того, был произведен посев половинной нормой семян, без подкормок. Учетные площади делянок составляли 50 м², повторность — трехкратная.

Благоприятные для роста и развития растений метеорологические условия 1955 г. способствовали в то же время сильному полеганию озимой пшеницы. В период вегетации по всем вариантам опыта проводилась принятая в селекционной практике балльная оценка устойчивости против полегания в разные фазы развития (отсутствие полегания оценивается баллом 5) (табл. 1).

Таблица 1

Оценка сортов озимой пшеницы на устойчивость к полеганию в 1955 г. (в баллах)

Варианты опыта	Лютесценс 238			Лютесценс 266			Одесская 3		
	а	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*
Контроль	5	5	5	5	5	3	4	3	1
Подкормка азотом	5	5	4	4	5	1	3	2	1
Подкормка фосфор-калием	5	5	5	5	5	4	5	4	1
$^1/_2$ нормы высева семян	5	5	5	5	5	4	5	3	1

Примечание. *а* — выход в трубку, *б* — колошение, *в* — полная спелость.

В 1956 г. подверглись анализу сорта: Лютесценс 238, Одесская 3 и Эритроспермум 107 (среднеполегающий сорт), взятые на Барвенковском и Савинском сортоучастках Харьковской области. В 1956 г. полегания всех трех испытанных сортов озимой пшеницы не наблюдалось.

Существует зависимость между стеблевым полеганием зерновых и прочностью второго надземного междоузлия. В 1955 и 1956 гг. мы отбирали пробы в фазы выхода в трубку, колошения и полного созревания (табл. 2).

Таблица 2

Изменение анатомического строения стебля сортов озимой пшеницы в зависимости от условий выращивания в 1955 г.

Сорта	Варианты опыта	Выход в трубку			Колошение			Полная спелость			Прирост толщины кольца механической ткани за период между фазами выхода в трубку и полной спелости
		а	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*	
Лютесценс 238	Контроль	58,4	700,2	30,6	66,5	768,7	30,8	87,1	841,3	30,7	28,7
	Азот	54,5	680,3	29,5	61,4	772,2	30,8	77,7	837,2	30,6	23,2
	Фосфор-калий	57,9	721,3	32,8	78,2	740,7	32,6	83,2	799,2	32,7	25,3
	1/2 нормы высева семян	55,4	665,2	31,6	71,3	774,8	31,0	80,5	780,5	31,8	25,1
Лютесценс 266	Контроль	63,2	611,8	28,5	67,5	631,0	28,0	73,9	789,3	27,1	10,7
	Азот	50,1	571,2	27,8	53,4	662,4	26,0	57,9	735,5	26,0	7,8
	Фосфор-калий	70,5	676,4	26,6	74,1	699,1	27,6	76,4	704,1	26,8	5,9
	1/2 нормы высева семян	67,3	472,4	25,4	69,8	553,4	24,8	74,1	584,2	25,8	6,8
Одесская 3	Контроль	59,8	440,3	23,4	59,8	447,4	22,4	66,6	512,4	25,2	6,8
	Азот	48,4	451,5	23,6	50,0	478,8	22,8	51,5	562,7	24,8	3,1
	Фосфор-калий	58,4	470,0	24,7	63,0	477,0	25,6	66,7	570,0	24,0	8,3
	1/2 нормы высева семян	50,1	521,1	26,2	53,0	559,1	24,7	56,1	563,0	24,2	6,0

Примечание. *а* — толщина кольца механической ткани в μ, *б* — толщина выполненной части стебля, *в* — число сосудисто-волокнистых пучков.

В опытах 1955 г. подтвердились данные других исследователей, что азотное удобрение снижает прочность стебля, фосфорно-калийное же, а также половинная норма высева семян, обеспечивающая лучшее освещение нижних междоузлий, способствуют лучшему формированию элементов, определяющих прочность стебля.

Толщина кольца механической ткани, сильно изменяющаяся под влиянием различных условий выращивания, в фазе выхода в трубку у всех трех сортов мало различалась. Различия начали выявляться лишь в фазу колошения и особенно отчетливо выступили в фазу полной спелости.

У полегающего сорта Одесская 3, толщина кольца механической ткани по всем вариантам опыта от выхода в трубку до полной спелости изменялась очень мало. Толщина кольца механической ткани у этого сорта вообще меньше, чем у неполегающих сортов. По-иному идет процесс формирования стебля у слабополегающего сорта Лютесценс 238. Усиление элементов, обеспечивающих прочность стебля, у этого сорта наблюдается на протяжении всей вегетации и достигает максимума к периоду созревания, сорт Лютесценс 266 занимает в этом отношении промежуточное положение между двумя крайними сортами.

Как видно из данных табл. 2, прочность стебля определяется также и количеством сосудисто-волокнистых пучков, которых у слабополегающего сорта оказалось больше, чем у среднеполегающего и полегающего сортов.

В 1955 г. меньшая толщина кольца механической ткани у стеблей полегающего сорта Одесская 3 в фазе полной спелости могла быть объяснена не сортовыми отличиями динамики формирования стебля, а особенностями условий этого года, благоприятствовавшими сильному полеганию стеблей, нарушившему нормальное развитие кольца. Однако в 1956 г. (табл. 3),

Таблица 3

Изменение анатомического строения стебля сортов озимой пшеницы в 1956 г.

Сорта	Выход в трубку			Колошение			Полная спелость			Прирост толщины кольца механической ткани за период между фазами выхода в трубку и полной спелости, р
	а	б	в	а	б	в	а	б	в	
Барвенковский сортоучасток										
Лютесценс 238	37,7	686,3	30,2	61,2	658,4	32,4	75,8	684,3	32,5	+38,1
Одесская 3	40,5	504,2	23,6	51,3	555,9	24,8	59,3	567,4	26,0	+18,8
Эритроспермум 107	43,5	615,0	31,1	61,7	692,9	29,8	67,4	708,6	29,7	+23,9
Савинский сортоучасток										
Лютесценс 238	43,2	616,4	32,0	65,8	683,9	33,4	73,6	690,7	33,1	+30,4
Одесская 3	44,8	557,9	25,5	56,6	642,4	24,0	58,9	665,2	25,1	+14,1

Обозначения те же, что в табл. 2.

огда полегание отсутствовало, анатомический анализ стеблей подтвердил данные 1955 г. о том, что у полегающего сорта Одесская 3 развитие кольца механической ткани отстает от развития той же ткани у слабополегающего сорта Лютесценс 238.

Таким образом, из наших данных следует, что динамика формирования свойств, определяющих устойчивость против полегания, у полегающих и слабополегающих сортов различна. Это различие желательно учитывать при оценке селекционного материала на этот признак.

Харьковский сельскохозяйственный институт
им. В. В. Докучаева

Поступило
18 VIII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. А. Волков, Ф. М. Перикальский, Химизация. соц. землед., № 5 (1940). [2] И. Н. Гальченко, Соц. зерн. хоз., № 4 и 5 (1940). [3] И. Н. Гальченко, Соц. зерн. хоз., № 1 (1941). [4] Н. С. Петинов, Н. Н. Харанян, Физиол. раст., т. 3, в. 1 (1956). [5] М. Пруцкова, М. Лебедева, А. Мельникова, С. Останин, Соц. растениеводство, № 3 (1932).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИОЛОГИЯ

А. Н. АЛИЕВ

МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ ИНТОКСИКАЦИИ ПРИ ВВЕДЕНИИ В ОРГАНИЗМ ЖИВОТНЫХ ПОДПОРОГОВЫХ ДОЗ ТОКСИНА СЕПТИЧЕСКОГО ВИБРИОНА

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 23 X 1956)

Было установлено ([1], [2]) что развитие газовой гангрены обусловлено не только попаданием микробов в соответствующие ткани, но и теми патогенными раздражениями, которые эти микробы и их токсины вызывают в нервной системе животного. Особое значение в этом процессе, как было установлено, имеют патогенные раздражения, падающие на афферентные приборы. Хирургический и фармакологический перерыв в отдельных звеньях рефлекторной дуги (деафферентация, деэфферентация, декортикация, новокаин, бром, барбамил) в значительной мере отражается на течении, развитии и исходе инфекционно-токсического процесса. Этими вмешательствами можно было закономерно предотвращать заболевание и смерть у животных, которым вводили смертельные дозы микробов или токсинов.

Возникла необходимость провести дальнейший анализ патогенеза интоксикации при указанном заболевании. В первую очередь важно было определить роль резорбтивного фактора в развитии интоксикации и выяснить механизм патогенного действия токсина через соответствующие нервные аппараты. При этом следовало учесть, что сам по себе резорбтивный фактор не указывает еще на непосредственное действие токсина на те или иные органы и ткани организма, так как резорбировавшийся из инфекционного очага токсин может оказывать патогенное действие на отдаленные нервные приборы, рассеянные в самой сосудистой системе и в других областях организма. Об этом говорят многочисленные исследования ([3], [4]).

В прежних исследованиях ([1], [2]) нами было установлено, что однократное введение в мышцы белых крыс 200 dlm (для мыши) токсина септического вибриона ни у одного животного не вызывает смертельной интоксикации. Для того чтобы вызвать такую интоксикацию требуется ввести животным 900—1000 dlm. Если же 200 dlm токсина вводить дробными дозами (20 раз по 10 dlm) в мышцы с интервалом в 30 мин., то все без исключения животные погибают при явлениях острой интоксикации.

Для объяснения этого факта можно было выдвинуть два предположения: 1) в условиях многократного введения токсина, быть может, имеет место бóльшая резорбция токсина в кровь, чем при однократном введении в мышцы большой дозы токсина (200 dlm); 2) при многократном введении подпороговых доз токсина, быть может, имеет место суммация патогенных раздражений, нарушающая жизненно важные функции организма.

Если встать на ту точку зрения, что интоксикация возникает в связи с резорбцией токсина из мышцы в кровь при многократном его введении, то такая интоксикация может быть предотвращена введением в кровь массивной дозы антитоксина.

Были поставлены следующие опыты. 20 крысам было введено в кров

25 АЕ сыворотки, т. е. такая доза, которая, как показали предварительные опыты, дает возможность животным безнаказанно переносить 200 dlm токсина, введенного в кровь сразу же и через 24 часа после введения специфической сыворотки. В дальнейшем животные, которым была введена сыворотка в кровь, подверглись многократным инъекциям в мышцы дробных доз токсина (10 dlm 20 раз с интервалом в 30 мин.). Одновременно был поставлен контрольный опыт (12 крыс) только с 20-кратным введением избранных доз токсина в мышцы.

Результаты опыта оказались следующими:

	Число животных	Выжило	Погибло
Опыт	20	11	9
Контроль	12	—	12

Можно было предположить, что часть животных погибает от интоксикации в связи с так называемым феноменом Даниша, зависящим от способа прибавления токсина к антитоксину in vitro: если сразу смешать эквивалентные количества токсина и антитоксина, то смесь безвредна для животного; если же прибавить то же количество токсина к тому же количеству антитоксина, но в несколько приемов, то смесь может оказаться все же весьма токсичной. Иными словами, можно было думать, что при многократном введении токсина в кровь быстрее исчерпывается нейтрализующая способность предварительно введенной сыворотки.

Для проверки такой возможности был поставлен следующий опыт. 10 крысам, после введения им в кровь 25 АЕ сыворотки, производились многократные инъекции указанных выше дробных доз токсина. К окончанию введения токсина все животные были вялы, периодически у них отмечались клонические судороги, общий тремор и паретическое состояние конечностей. Крысы эти наблюдались непрерывно. К моменту, когда животные впадали в терминальное состояние, они обескровливались, и из крови приготовлялась сыворотка; для выяснения, имеется ли в ней свободный антитоксин, была поставлена биологическая проба. 5 крысам было введено в кровь по 0,5 мл сыворотки, взятой от погибающих от интоксикации животных, и сразу же этим крысам и 5 контрольным было введено внутривенно по 100 dlm токсина v. septique. Все контрольные животные пали от острой интоксикации в течение нескольких минут, все же подопытные животные выжили, не проявляя каких-либо признаков интоксикации.

Таким образом, в крови крыс, погибавших от интоксикации при введении им в мышцы дробных доз токсина, содержится достаточное количество антитоксина, который, по подсчетам, способен был бы нейтрализовать 400 dlm токсина, т. е. в два раза больше токсина, чем мы в общей сложности вводили животным.

Однако, как мы видели, у части подопытных животных интоксикация не развивалась, следовательно гибель животных при дробном введении им токсина не может быть объяснена резорбцией токсина в кровь. Отсутствие же интоксикации у ряда животных связано, быть может, с тем, что введенная в кровь специфическая сыворотка не только повышала нейтрализующую способность крови, но и снижала реактивность нервной системы к патогенным раздражениям. Если такое предположение верно, то, изменив реактивность нервной системы, и в частности повысив ее возбудимость, можно ожидать гибели от интоксикации уже всех животных, несмотря на наличие в их крови массивной дозы антитоксина.

Опыт был поставлен следующим образом. Мы одновременно вводили животным в кровь 25 АЕ сыворотки и подкожно, дважды с перерывом в 5 час., 0,4 мл 4%-го раствора кофеина. Было установлено, что само по себе введение в организм кофеина (после введения в кровь 25 АЕ сыворотки) не нарушает условий опыта, так как и в этом случае животные безнаказан-

но переносили однократные 200 dlm токсина (внутривенно сразу же и через 24 часа после инъекции сыворотки). Результаты этих опытов таковы:

Число животных	Количество токсина и время его введения	Выжило	Погибло
12	200 dlm одновременно с сывороткой	12	—
12	200 dlm через 24 часа после сыворотки	12	—
20	по 10 dlm 20 раз с интервалом в 30 мин.	—	20

Как видим, все подопытные животные погибли от острой интоксикации, несмотря на полную «блокаду» крови антитоксином.

Опыты, направленные на выяснение второго предположения относительно причин гибели животных при дробном введении токсина — возможности суммации патогенных раздражений, показали справедливость этой гипотезы: в условиях деафферентации конечности у животных не удается вызвать эффекта от введения в организм дробных доз токсина. Это говорит о важной роли в процессе развития интоксикации суммационных механизмов, складывающихся по принципу следового подкрепления падающих на нервную систему патогенных раздражений. Физиологический анализ этих механизмов проведен нами в отдельной статье (5).

Институт нормальной и патологической физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
22 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] О. Я. Острый, З. И. Собиева, А. Н. Алиев, Тез. докл. 2 Всесоюзн. конфер. патофизиологов, Киев, 1956. [2] А. Н. Алиев, О. Я. Острый, З. И. Собиева, Тез. докладов на итоговой научн. конфер., посвящен. проблеме Приспособительные и компенсаторные механизмы в физиологических и патологических процессах, М., 1956. [3] А. Д. Сперанский, Элементы построения теории медицины, М., 1935. [4] В. С. Галкин, О наркозе, Киров, 1944. [5] А. Н. Алиев, ДАН, **111**, № 5 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИОЛОГИЯ

Э. М. ПЛИСЕЦКАЯ

ВЛИЯНИЕ АЦЕТИЛХОЛИНА И АДРЕНАЛИНА НА МУСКУЛАТУРУ КИШЕЧНИКА И МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ ЛЯГУШКИ В ОНТОГЕНЕЗЕ

(Представлено академиком Л. А. Орбели 22 XI 1956)

На основе сравнительно-физиологических данных в литературе выска-ывается мысль, что сложное двойное действие вегетативных нервов и их едиаторов формировалось в процессе эволюции постепенно. При этом на аннем этапе филогенетического развития позвоночных имело место одно-начное, и именно возбуждающее, влияние как нервов, так и их медиаторов [5, 6, 15]). Возникает вопрос, повторяется ли эта закономерность в онтогенезе олоднокровных позвоночных. Для теплокровных указания на возбуждаю-ее влияние как нервов, так и медиаторов на ранних этапах постнатального ериода имеются в работах Е. В. Морачевской ([7], [8]) и С. Э. Беленькой ([2]).

В настоящей работе исследовалась реакция на ацетилхолин и адреналин ладких мышц задней кишки и мочевого пузыря головастиков (на разных тадиях развития) и молодых лягушек в первые месяцы после метаморфоза.

Головастики Rana temporaria выводились в осенне-зимний и весенний ериоды в лабораторных условиях путем искусственного оплодотворения ікры с последующим выращиванием личинок в течение 2—4,5 мес.

Подопытное животное помещалось в парафиновую ванночку со стеклян-ым дном (объем — 2 см³), наполненную раствором Шюллера для холодно-кровных: NaCl — 6,5 г, KCl — 0,2 г, $CaCl_2$ — 0,2 г, $NaHCO_3$ — 0,1 г, $MgCl_2$ — 0,1 г, NaH_2PO_4 — 0,05 г на 1 л дистиллированной воды.

Препаровка и наблюдения проводились под стереоскопическим микро-скопом при увеличении в 16 или 32 раза.

Острым глазным скальпелем отрезались головная часть головастика и хвост, непосредственно за анальным отверстием, а в случае наличия зад-них и передних конечностей последние также удалялись. Затем препаро-вальными иглами вскрывалась брюшная полость и обнажался кишечник.

У головастика на ранних стадиях развития, когда задняя кишка ана-томически еще не отграничена от средней, изолировалась задняя порция ки-шечника, из которой впоследствии развиваются rectum и cloaca ([12]). На более поздних стадиях, когда под микроскопом можно различить границу между тонким кишечником и прямой кишкой, в опыт бралась вся задняя кишка (rectum и cloaca). Таким же способом изолировался мочевой пузырь, появляющийся незадолго до метаморфоза как вентральный вырост клоаки. В ряде опытов вначале наблюдения велись на целом животном со вскрытой брюшной полостью и лишь затем производилась дальнейшая препаровка и изоляция органов.

Характер и сила автоматических сокращений кишечника и мочевого пузыря подробно протоколировались. Частота сокращений подсчитывалась с помощью секундомера, причем в качестве постоянно измеряемой вели-чины служило время в сек., в течение которого происходило 3 полных однотипных сокращения кишечника. Исключения делались в случаях при-менения фармакологических веществ, когда, кроме того, отмечалось вре-мя каждого отдельного сокращения. Предварительно проверялась ре-акция препарата при смене солевого раствора на новую порцию.

Стадии развития головастиков определялись согласно таблице, предложенной П. В. Терентьевым ([9]). Приводим описание стадий, упоминание о которых встречается в дальнейшем тексте:

20. Вылупление
21. Открытие рта и прозрачность роговицы
22. Кровообращение в кончике хвоста
23—25. Формирование околожаберной полости
26. Недифференцированные зачатки задних конечностей
27—28. Различные этапы дифференцировки задних конечностей
29. Прорезание передних конечностей
30. Разные стадии резорбции хвоста
31. Молодой лягушонок без хвоста

Всего поставлено 180 опытов на животных разных стадий развития. В опыт брались самые крупные экземпляры из исследуемой серии, до очередного кормления головастиков.

Автоматические движения кишечника и мочевого пузыря. Наблюдения над личинками начинались еще до вылупления их из икры, когда длина эмбриона достигала 4—5,3 мм. Движения задней кишки отсутствуют по 20 стадию развития включительно, смена раствора, механические воздействия, ацетилхолин и адреналин в любых концентрациях также оказываются неэффективными.

Впервые чрезвычайно слабые и редкие маятникообразные сокращения (время 3 сокращений 100—340 сек.) и отдельные вздрагивания отмечались всегда при переходе от 20 к 21 стадии. Иногда сразу после препаровки не наблюдалось никаких движений, кроме слабых вздрагиваний у анального конца, но механическое воздействие или смена солевого раствора в ванночке вызывали появление автоматической ритмики. Последующие смены раствора учащали ритм или оставляли его без изменений; через 5—10 мин. сокращения обычно угасали.

По мере роста и развития головастика автоматическая ритмика задней кишки значительно усиливается. Как правило, движения изолированной части кишечника представляют собой маятникообразное сведение и разведение его концов, реже одновременно наблюдаются сегментация и перистальтические сокращения по всей длине препарата или в какой-либо его части.

В течение 24—26 стадий развития (период, длящийся от 18 до 25 дней) ритм сокращений резко изменяется в сторону учащения (3 сокращения за 45,4—82 сек.) после чего наступает постепенное замедление ритма, особенно ясно выраженное к началу метаморфоза, когда, как известно ([1],[3]), кишечник испытывает ряд очень значительных гисто-анатомических преобразований и животное на некоторый период времени перестает питаться. Длительность 3 сокращений в этот период (148—245 сек.) уже мало отличается от аналогичного показателя взрослой лягушки.

Движения кишечника, наблюдавшиеся на целом вскрытом животном, как правило, бывали слабее и несколько реже, чем на изолированном препарате, во многих случаях отмечались перистальтические движения.

Изолированный мочевой пузырь также время от времени производит медленные сокращения, постепенно охватывающие всю мускулатуру органа. Интервалы между ними достигают 5—6 мин., длительность одного сокращения 60—100 сек.

Действие ацетилхолина и адреналина на гладкую мускулатуру кишечника и мочевого пузыря. Испытывалось действие ацетилхолина (166 проб) и адреналина (187 проб) в концентрациях 10^{-8}—10^{-4}. Длительность приложения данных веществ варьировала от 3 до 20 мин.

При переходе с 20 на 21 стадию ацетилхолин в концентрации 10^{-5} только в двух случаях вызвал несколько сильных сокращений с быстрым возвращением к норме. В остальных случаях применение ацетилхолина и адрен-

ина на этих стадиях осталось без эффекта. Начиная с 22 стадии, реакции а применявшиеся вещества становятся постоянным явлением.

Пороговая концентрация ацетилхолина 10^{-6}—10^{-7}, но два раза наблюдались ответы на концентрацию 10^{-8}, выразившиеся в одном случае в легком повышении тонуса, в другом — в появлении сильных сокращений. В период метаморфоза порог действия ацетилхолина повышается иногда до 10^{-5}.

На стадиях 22—26 ацетилхолин вызывает усиление или учащение (в 1,5—2 раза) автоматических сокращений, иногда то и другое вместе; время от времени возникает сегментация. На более поздних стадиях преобладающей формой реакции становится повышение тонуса, на фоне которого часто наблюдаются отдельные, более или менее сильные сокращения; последняя форма ответа на ацетилхолин, как правило, встречается и у взрослых лягушек. После отмывания тонус падает и автоматические движения возвращаются к норме, но в ряде случаев непосредственно вслед за отмыванием возникает остановка или заметное ослабление сокращений, длящееся 5—7 мин. В табл. 1 мы приводим выдержку из протокола опыта № 60 от 7 VI 1955 г.— 26 стадия развития (18 дней); длина головастика 18 мм.

Таблица 1

Время	Среда	Длительность 3 сокращений, сек.	Общие замечания
12 ч. 38 м.	раствор Шюллера	64; 61,2; 62,8; 57,7	движения сильные
13 ч. 09 м.	то же	64; 67;	смена раствора
13 ч. 20 м.	то же	61,8; 63;	движения слабее
13 ч. 33 м.	ацетилхолин 10^{-6}	36,2; 28,2; 25;	движения не очень сильные
13 ч. 37 м.	то же	72; 72,4;	—
13 ч. 40 м.	раствор Шюллера	69,4; 68;	отмывание, движения слабые
14 ч. 02 м.	ацетилхолин 10^{-5}	23,5; 23,8; 19,2	движения очень сильные
14 ч. 09 м.	раствор Шюллера	24; 26,8; 31,6;	отмывание
14 ч. 20 м.	то же	65,6;	смена раствора
14 ч. 42 м.	то же	67,9;	движения слабые

В течение 22—26 стадий развития адреналин, так же как и ацетилхолин, оказывает возбуждающее действие на гладкую мускулатуру задней кишки, причем реакция особенно выражена начиная с 24 стадии. В одном случае возбуждение от адреналина имело место на 29 стадии. Чаще всего после применения адреналина ритм автоматических сокращений увеличивается, в то время как сила их несколько уменьшается. Иногда возникают сегментация или вздрагивания на концах препарата. В ряде других случаев учащение сокращений сопровождается также их усилением, давая эффект совершенно подобный ацетилхолиновому.

Пороговая концентрация для адреналина лежит в пределах 10^{-7}—10^{-6}. По мере перехода от 26 к 27 стадии, адреналин в концентрации 10^{-7}, а затем и 10^{-6} все чаще не дает никакого эффекта, в то время как 10^{-5} еще стимулирует мускулатуру задней кишки. В трех случаях в этот период после адреналина наблюдалось ослабление автоматической ритмики.

Начиная с 28 стадии, тормозные реакции на адреналин встречаются все чаще. Остановка движений сохраняется в течение 30 сек.— 2 мин., после чего сокращения восстанавливаются без отмывания. Автоматические сокращения, продолжающиеся, несмотря на воздействие адреналина, или возобновляющиеся после кратковременной остановки, удается наблюдать в процессе метаморфоза и даже после его окончания.

Наряду с этим, на 28—31 стадиях появляется характерная для задней кишки взрослого животного реакция на адреналин, выражающаяся в паде-

нии тонуса и полном и длительном прекращении движений. С увеличением концентрации адреналина данная реакция проявляется ярче; после метаморфоза она становится преобладающей. Эффект адреналина довольно легко устраняется отмыванием препарата, после чего иногда наступает усиление сокращений. В тех же случаях, когда адреналин имеет возбуждающий эффект, после отмывания часто происходит кратковременная остановка или ослабление движений. Приводим выдержку из протокола опыта № 146 от 6 II 1956 г.— 24 стадия развития (12 дней); длина головастика 14,8 мм (табл. 2).

Таблица 2

Время	Среда	Длительность 3 сокращений, сек.	Общие замечания
16 ч. 10 м.	раствор Шюллера	—	изолирована задняя порция кишечника
16 ч. 43 м.	то же	65; 73,6; 66,9;	—
16 ч. 47 м.	то же	76,6;	смена раствора, ослабление движений
16 ч. 49 м.	адреналин 10^{-5}	44; 32;	движения сильные
16 ч. 52 м.	то же	49; 42,4; 51;	движения очень сильные
17 ч. 00 м.	то же	58; 59,5;	—
17 ч. 03 м.	раствор Шюллера	76; 74,5;	смена раствора
17 ч. 07 м.	то же	80;	движения слабые

Мочевой пузырь исследовался на 30—31 стадиях развития. Как смена чистого солевого раствора, так и ацетилхолин в концентрациях 10^{-7}—10^{-5} вызывают одиночные сокращения, более выраженные в случае применения ацетилхолина. При воздействии адреналина 10^{-7}—10^{-4} сразу возникают отдельные сокращения, ничем не отличающиеся (насколько можно судить в условиях нашей методики) от сокращений, вызванных ацетилхолином.

Если действие ацетилхолина на заднюю кишку и мочевой пузырь испытывалось вслед за действием адреналина, хотя бы препарат и был тщательно отмыт, реакция на ацетилхолин значительно ослаблялась и во многих случаях не проявлялась совсем. Сходная картина отмечена на девственной матке кролика ([10]). Потенциирующий эффект ацетилхолина на адреналин, описанный на кишечнике теплокровных ([11]), в наших опытах в достаточно отчетливой форме не выявился.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на раннем этапе онтогенеза амфибий, ацетилхолин и адреналин действуют одинаково возбуждающе на мускулатуру задней кишки. С подобным же однонаправленным и именно возбуждающим, действием ацетилхолина и адреналина на различные части желудочно-кишечного тракта у взрослых хрящевых рыб мы встречаемся в ряде работ ([5, 13–15]) и др.). Что касается мускулатуры мочевого пузыря — органа, позднее возникающего в онтогенезе, то возбуждающее действие на него как ацетилхолина, так и адреналина сохраняется и у взрослой лягушки ([4]).

Институт эволюционной физиологии
им. И. М. Сеченова
Академии наук СССР

Поступило
16 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. В. Алешин, Биол. журн., **4**, 3, 461 (1935). [2] С. Э. Беленькая, Автореферат диссертации, Л., 1954. [3] А. М. Васюточкин, Бюлл. эксп. биол. и мед., 5, 2, 179 (1938). [4] И. Н. Зотикова, Автореферат диссертации, Л., 1950. [5] Н. А. Итина, Усп. совр. биол., **16**, 6, 646 (1943). [6] Н. А. Итина, Тез. докл. 8 Всесоюзн. съезда физиол., фармак., биохим., М., 1955, стр. 265. [7] Е. В. Морачевская, Физиол. журн. СССР, **30**, 6, 681 (1941). [8] Е. В. Морачевская, Физиол. журн. СССР, **30**, 6, 688 (1941). [9] П. В. Терентьев, Лягушка, 1950, стр. 62. [10] D. Danielopolu, Studii şi cercetări fiziol. şi neurol., **4**, 3—4, 499 (1953). [11] R. I. S. McDowall, J. Physiol., **106**, 1, 1 (1947). [12] O. E. Nelsen, Comparative Embryology of the Vertebrates, London, 1953, p. 630. [13] I. V. V. Nicholls, Contr. Canad. Biol. Fish., **7**, 449 (1933). [14] I. V. V. Nicholls, Contr. Canad. Biol. Fish., **8**, 147 (1933). [15] J. Z. Young, Quart. J. Microscop. Sci., **75**, 571 (1933).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИОЛОГИЯ

Н. П. САМОШКИН

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ ОСНОВНОГО ОБМЕНА У КРОЛИКОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АТЕРОСКЛЕРОЗА

(Представлено академиком Н. Н. Аничковым 23 XI 1956)

В патогенезе атеросклероза важную роль играют изменения интенсивности обмена веществ. Об этом свидетельствуют клинические наблюдения ([1-3]), из которых следует, что заболевания, протекающие с понижением общего обмена веществ (микседема, кретинизм и др.), сопровождаются нарастанием холестерина в крови и интенсивным развитием атеросклероза. Подобный же эффект наблюдается и при экспериментальном снижении уровня общего обмена, например, путем подавления функции щитовидной железы ([4-7]). Известно, что степень развития экспериментального атеросклероза может зависеть от величины основного обмена подопытных животных до начала опытов с нагрузкой холестерином ([8]).

Возможны изменения общего обмена и в самом процессе развития атеросклероза, поскольку при длительном кормлении кроликов раствором холестерина в подсолнечном масле наблюдаются изменения основного обмена ([9]). Остается, однако, неизвестным, какое значение имеют изменения основного обмена, наблюдаемые при жиролипоидных нагрузках, для процесса формирования атеросклероза. Мало пока изучены и физиологические механизмы этих изменений.

Нами проведено исследование, в котором изучалось состояние основного обмена у кроликов в процессе воспроизведения у них холестеринового атеросклероза, а также некоторые моменты регуляции наблюдавшихся нарушений его.

У 33 кроликов в течение 1—2 мес. определялся фон основного обмена содержание холестерина в крови. По истечении указанного срока, когда уровень основного обмена становился более постоянным, 23 кроликам было начато ежедневное введение по 4 мл/кг 5%-го раствора холестерина в подсолнечном масле. Остальные кролики жиролипоидов не получали и служили контролем.

Кормление кроликов раствором холестерина сопровождалось развитием резко выраженной гиперхолестеринемии, первые признаки которой обозначались на 4—5 день, а к 70—80 дню введения жиролипоидов высота гиперхолестеринемии достигла в среднем для всех кроликов 789 мг%, при индивидуальных колебаниях от 293 до 1660 мг%.

Отчетливые сдвиги наблюдались и в уровне основного обмена. Уже на следующий день после первого введения холестерина было отмечено уменьшение потребления кислорода в среднем на 72 мл на 1 кг в час (12,9%). У некоторых кроликов падение основного обмена достигало 25—35%. На сниженном уровне основной обмен оставался и последующие 10—15 дней введения жиролипоидов, после чего у всех кроликов (исключая одного) началось нарастание его величины. К 30—50 дню уровень основного обмена превышал исходный в среднем на 7%. После этого было отмечено повторное падение основного обмена, и к 70—80 дню средний уровень потребления кислорода оказался ниже исходного на 73 мл O_2 на 1 кг/час, т. е. на 13,1%, при индивидуальных колебаниях от 3,0 до 30,0%.

Таким образом, кормление кроликов раствором холестерина ведет к трехфазному изменению основного обмена.

Анализ фазовости этих изменений показал, что развитие I фазы, т. е. падения основного обмена, связано с поступлением в организм больших количеств холестерина, а развитие II фазы, т. е. последующего повышения основного обмена,— с влиянием подсолнечного масла. Доказательством этому служат результаты наших опытов, в которых было показано, что ежедневное введение кроликам одного кристаллического холестерина (по 1 г/кг) вызывает снижение уровня основного обмена без фазы повышения. Применение же одного подсолнечного масла приводит к повышению потребления кислорда без фазы падения.

При исследовании аорт подопытных кроликов оказалось, что атеросклерозом поражены аорты всех животных, которые получали раствор холестерина не менее 70 дней. В степени же развития атеросклеротических поражений наблюдались существенные индивидуальные различия (табл. 1).

Таблица 1

Связь изменений основного обмена с развитием атеросклероза

№№ кроликов	Падение основного обмена в I фазе		Падение основного обмена в III фазе			Высота гиперхолестеринемии, мг%	Степень атеросклероза
	мл O_2 на 1 кг в час	%	продолж., дни	мл O_2 на 1 кг в час	%		
1-я группа кроликов							
1	65	12,1	20	48	8,9	800	++++
7	73	12,0	70	122	20,1	1660	++++
36	136	25,4	30	55	10,2	781	++++
47	117	23,3	20	79	15,7	1050	++++
53	78	15,2	40	118	23,1	1375	++++
48	74	12,8	30	53	9,1	655	+++
82	83	14,2	40	62	10,6	525	+++
В среднем	89	16,2	35,5	61	10,7	973	
2-я группа кроликов							
9	51	9,1	10	8	1,5	357	++
15	21	4,0	20	39	7,3	203	++
17	51	10,0	20	49	9,7	464	++
24	54	9,2	20	56	9,4	554	++
25	67	11,3	30	37	6,5	685	++
26	33	5,8	30	26	4,6	515	++
79	60	11,4	30	37	6,4	895	++
81	14	2,2	20	68	10,8	543	++
В среднем	31	5,5	22,5	40	7,0	531	

При сопоставлении степени развившегося атеросклероза с изменениями основного обмена выяснилось, что атеросклероз был развит резче у тех кроликов, у которых было бо́льшим падение основного обмена как в I, так и в III фазах его изменений. Так, у кроликов с атеросклерозом, оцененным в 3—4+ (у 7 из 15) основной обмен за первые 10 дней введения им раствора холестерина упал в среднем на 89 мл O_2 на 1 кг в час, в то время как у кроликов с атеросклерозом в 2 + это падение равнялось в среднем только 31 мл O_2 на 1 кг в час (5,5%, табл. 1).

Точно так же и в конце III фазы у кроликов 1-й группы основной обмен был снижен больше, чем у кроликов 2-й группы (табл. 1).

О значении состояния основного обмена для развития морфологических проявлений атеросклероза говорит и тот факт, что у кроликов, у которых при относительно невысокой гиперхолестеринемии оказался в резкой степени развитый атеросклероз аорты (кролики №№ 36, 48 и 82, табл. 1), падение основного обмена в I фазе было бо́льшим, чем у кроликов с менее развитым атеросклерозом, хотя и при относительно высокой гиперхолестеринемии (кролики №№ 25 и 79).

Таким образом, имеется отчетливое соответствие между степенью изменений основного обмена и степенью развившегося атеросклероза.

Поскольку известно, что регуляция основного обмена осуществляется под влиянием высших отделов центральной нервной системы и желез внутренней секреции, особенно щитовидной железы, являлось целесообразным выяснить, какое участие принимают они в изменениях основного обмена, развивающихся при экспериментальном атеросклерозе. Для этого у одной группы кроликов (12 животных) изменения основного обмена изучались при введении жиролипоидов во время пребывания этих животных в состоянии мединалового сна. У другой группы (13 животных) эти изменения изучались в условиях резко сниженной функции щитовидной железы, что достигалось применением метилтиоурацила.

В первом случае, т. е. при угнетении высших отделов головного мозга мединалом, введение жиролипоидов не вызвало падения основного обмена в такие ранние сроки, как это наблюдалось при введении жиролипоидов без мединала. Уменьшение потребления кислорода наступило лишь спустя 10—15 дней и продолжалось до последних дней введения жиролипоидов и мединала (до 80 дня).

Блокирование функции щитовидной железы вызвало резкое снижение величины основного обмена. Введение раствора холестерина на этом фоне не вызвало дальнейшего падения потребления кислорода, а сопровождалось постепенно развивающимся повышением основного обмена.

Таким образом, можно заключить, что 1) развитие изменений основного обмена, наблюдающихся при длительном введении раствора холестерина, осуществляется при участии высших отделов головного мозга и щитовидной железы; 2) I фаза изменений основного обмена является результатом функциональных сдвигов в организме, поскольку данная фаза развивается в тот период, когда заметных морфологических изменений еще не наблюдается. Эта фаза, тем не менее, может определять степень развития экспериментального атеросклероза.

Институт экспериментальной медицины
Академии медицинских наук СССР

Поступило
20 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] H. Bing, Biochem. Zs., **162**, 32 (1925). [2] I. Gardner, Brit. Med. J., **11**, 935 (1928). [3] L. Hurxthal, Arch. Inst. Med., **52**, 86 (1933). [4] И. Агагжанянц, Мед. биол. журн., в. I, 38 (1926). [5] M. Kunde, Am. J. Physiol., **76**, 225 (1926). [6] M. Bevans, Arch. Path., **51**, 278 (1951). [7] Т. А. Синицина, ДАН, **53**, 929 (1953). [8] В. В. Татарский, Арх. биол. наук, **10**, в. 3, 29 (1940). [9] А. Р. Макарова, О влиянии приемов пищи и режимов питания на газообмен. Диссертация, Л., 1953. [10] Р. П. Ольнянская, Кора головного мозга и газообмен, М., 1950.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ФИЗИОЛОГИЯ

А. М. УГОЛЕВ

АДАПТИВНЫЕ СВОЙСТВА ЖЕЛУДОЧНОГО СОКА

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 27 XI 1956)

В основных сводках ([1-3, 5, 6]), посвященных вопросам пищеварения, мы не нашли указаний на адаптивные свойства желудочного сока, которые вероятно, должны проявиться в неодинаковом расщеплении различных белковых субстратов in vitro соком, полученным на разную пищу.

Мы изучали переваривание белков растительного и животного происхождения желудочным соком, полученным из изолированного желудочка собаки на разные виды пищи. Из 11 собак шесть имели изолированный желудочек по Павлову, на большой кривизне, а пять — изолированный желудочек на передней стенке, с сохраненной иннервацией (наша методика).

Животные, находившиеся на смешанной диете, после 16—18-часового голодания получали 100—200 г мяса, 250 г хлеба или 600 мл молока. Переваривающая сила сока определялась в получасовых и часовых порциях или во всем соке, полученном за 4 часа.

Обычно принято определять переваривающую силу по одному, в общем произвольно выбранному белковому субстрату. При этом возможно наблюдать лишь количественные вариации скорости ферментативной реакции. В наших же опытах переваривающие свойства желудочного сока определялись параллельно по расщеплению субстратов: белков животного происхождения (комплекс денатурированных мышечных белков) и белков растительного происхождения (клейковина). К навескам в 50 мг каждого из белков прибавлялось по 0,3, по 0,5 или 1 мл натурального желудочного сока. Инкубация производилась в течение 20—30 мин. при температуре 35—38°.

Определение ферментативной активности производилось тремя способами: в первых опытах по нерастворенному остатку белковой навески, в дальнейшем по нарастанию свободного амино-азота (метод Ван Слайка) и, наконец, по тирозиновому методу Энсон-Мирского ([4]), с указанными выше изменениями. Результаты, полученные всеми тремя методами, качественно однородны. В настоящей работе проводятся результаты, полученные тирозиновым методом. Понятно, что если свойства сока адаптированы к мясной или растительной пище, то соотношение активности по обоим субстратам будет меняться в зависимости от качества поступающей пищи. В противном случае степень расщепления обоих субстратов будет меняться параллельно.

Уже в первых опытах было обнаружено, что не всегда один из белковых субстратов более легко расщепляется желудочным соком, чем другой. В одних из опытов сильнее гидролизовались растительные белки, а в других — животные. При этом первое закономерно совпадает с кормлением хлебом, а второе — с кормлением мясом.

После еды хлеба выделяется сок (сок за 4 часа) более активный по клейковине, чем по комплексу мясных белков. При кормлении мясом в соке,

обранном за 4 часа, наблюдается, напротив, преобладание активности, пределяемой по животным белкам:

	Переваривание растительного белка (усл. ед.)	Переваривание животного белка (усл. ед.)
Желудочный сок на хлеб	467	41,4
Желудочный сок на мясо	406	52,1

Таким образом сок, выделяющийся в процессе пищеварительной обработки мяса, более интенсивно расщепляет белки животного происхождения по сравнению с растительными, тогда как «хлебный» сок — напротив, более интенсивно гидролизует именно последние. Вполне понятно, что речь идет не только о колебаниях количества желудочного сока, но и о качественно различных (по крайней мере по эффекту) изменениях переваривающих свойств.

Если исходить из чисто количественных представлений, то расщепление растительных белков всегда должно было быть меньше, чем животных. В действительности же растительные белки не являются всегда более трудно перевариваемыми по сравнению с животными. Правда, сок, который выделяется при еде мяса, слабее гидролизует растительные белки по сравнению с животными. Однако при еде хлеба желудочные железы продуцируют сок, который более интенсивно расщепляет именно растительные белки. Можно, следовательно, полагать, что в процессе приспособления свойства желудочного сока меняются в такой степени, что наиболее легко расщепляются белки той пищи, которая в данный момент обрабатывается пищеварительным аппаратом животного (мы, разумеется, вправе сопоставлять только изменения секреции на мясо и хлеб). Значение этого акта в процессе пищеварения настолько очевидно, что не нуждается в пояснении.

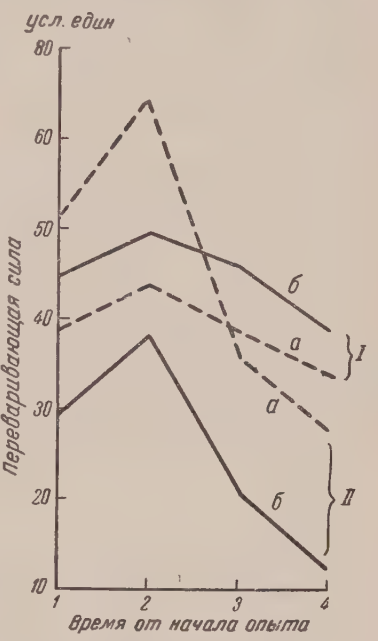


Рис. 1. Динамика переваривающих свойств желудочного сока. *I* — на мясо; *II* — на хлеб *а* — расщепление растительных белков, *б* — расщепление животных белков

До сих пор мы рассматривали среднюю активность в соке, собранном за 3—4 часа. Если теперь посмотреть, что происходит в часовых и получасовых порциях, то мы увидим следующее. Опыты ставились так, чтобы у собак не мог образоваться условный рефлекс на определенный вид пищи. Несмотря на это уже в порции, собранной за 1-й час, и даже за первые полчаса в большей части случаев отмечалась приспособленность к тому роду пищи, которую в данном опыте получало животное. Такая скорость приспособления скорее всего свидетельствует об их рефлекторной природе. У некоторых животных сок первой порции не был адаптирован к качеству поступившей пищи, но на 2—3 часе можно было видеть совершенно отчетливое приспособление. У таких животных в этом варианте адаптация развивается постепенно и сравнительно медленно.

Полученные данные свидетельствуют, по-видимому, о том, что сам по себе факт секреции желудочного сока и чисто количественная характеристика его переваривающих свойств недостаточны * для оценки изучаемых процессов, и имеет определенный смысл принять такую систему обо-

* Об этом же, по-видимому, свидетельствуют некоторые другие наблюдения, в частности то, что при спонтанно образовавшихся язвах желудка процесс приспособления переваривающих свойств сока к качеству пищи резко нарушается.

значений, которая хотя бы частично отражала приспособительные свойства желудочного сока. Это тем более необходимо, что нередко снижение активности сока по одному субстрату означает не падение ферментативных свойств (ибо одновременно происходит повышение активности по другому субстрату), а наличие приспособительных изменений в связи со сменой пищи. В случае переваривания белков животного происхождения мы говорим о зоолитической активности (или зоотропности), а при переваривании растительных белков — о фитолитической активности (или фитотропности). Приспособленность желудочного сока к качеству пищи и выражается, в частности, в преобладании зоолитической активности при еде мяса и фитолитической — при еде хлеба. Отношение фитолитической активности к зоолитической (индекс Ф/З) довольно правильно характеризует свойства сока при равных условиях опыта. Если индекс ниже 1, то, по-видимому, следует говорить о приспособлении сока к перевариванию пищи животного происхождения, а при индексе, большем 1,—о приспособлении к перевариванию растительных белков.

Институт нормальной и патологической физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
24 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. П. Бабкин, Внешняя секреция пищеварительных желез, 1927. [2] И. П. Павлов, Лекции о работе главных пищеварительных желез, Изд. АН СССР, 1949. [3] И. П. Разенков, Новые данные по физиологии и патологии пищеварения. 1948. [4] M. L. Anson, A. E. Mirsky, J. Gen. Physiol., **16**, 59 (1932—1933), [5] B. P. Babkin, Secretory Mechanism of the Digestive Glands, 1950. [6] W. E. Knox, V. H. Auerbach, E. C. Lin, Physiol. Rev., **36**, 2 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ЭМБРИОЛОГИЯ

В. И. КАНТОРОВА

СТРОЕНИЕ МЕЖКОТИЛЕДОННОГО ХОРИОНА КОРОВЫ (BOS TAURUS)

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 29 X 1956)

Строение chorion laeve жвачных, или межкотиледонного хориона, изучено значительно хуже, чем строение котиледонных областей, состоящих из ворсинок. Эштон ([2]) впервые высказал предположение об образовании в межкотиледонном хорионе овцы ареол, которые были до этого описаны лишь в плаценте свиньи, имеющей более примитивное бескотиледонное строение ([8]). Вимсет ([11]) подробно охарактеризовал ареолы хориона овцы на разных стадиях беременности. Единственная известная мне работа, описывающая ареолы в хорионе коровы, принадлежит Бьеркмэну ([3]). Однако автор описал ареолы только на двух стадиях развития, пользуясь к тому же лишь срезами хориона. Во всех упомянутых работах ареолы считаются органами, усваивающими маточное молоко, секретируемое маточными железами. По данным Вимсета и Бьеркмэна, ареолы жвачных мельче и проще по строению, чем ареолы свиньи.

Другими важными образованиями, описанными в межкотиледонном хорионе коровы и некоторых других жвачных, являются дополнительные котиледоны. Их считают ([1], [7], [9]) компенсаторными образованиями, формирующимися тогда, когда главные котиледоны не могут в достаточной мере обеспечить питание плода. Большинство авторов ([1], [3–6], [9]) описывает образование дополнительных котиледонов на хорионе коровы при обычной одноплодной беременности. Существует также мнение ([7]), что дополнительные котиледоны формируются у коровы только при многоплодной беременности. Механизм образования этих котиледонов до сих пор неясен. Отдельные высказывания, имеющиеся по этому поводу в литературе ([5–7], [12]), противоречивы.

Целью настоящего сообщения является описание изменений строения межкотиледонного хориона коровы на протяжении беременности.

Материалом для этой работы послужили зародышевые и плодные пузыри от 90 телок казахской породы крупного рогатого скота, находящихся на разных стадиях беременности — с 14 суток по 9 месяц. Зародышевые и плодные пузыри всех изучаемых стадий развития, полученные от 22 телок, были датированы. Возраст остальных определялся по уровню развития зародышей и плодов. Во всех случаях телки были одноплодны. Строение хориона всех плодных пузырей изучалось в прижизненном состоянии на нефиксированных и неокрашенных препаратах, в 39 случаях на срезах и в 18 — на тотальных фиксированных и окрашенных препаратах. Срезы хориона окрашивались железным гематоксилином Гейденгайна, азановым методом по Гейденгайну и в некоторых случаях метиловым зеленым с пиронином. Гликоген определялся по методу Шабадаша ([13]). Гистохимическая реакция на гемоглобин проводилась по методу Слонимского и Лапинского ([10]). Куски хориона, предназначенные для тотальных препаратов, красились гематоксилином Эрлиха.

Первые зачатки ареол, едва различимые на тотальных препаратах, можно обнаружить на хорионе в области расположения зародыша на 27 сутки беременности, т. е. одновременно с зачатками примитивных котиледонов. Никаких первичных ворсинок, покрывающих, по мнению Цицшмана ([12]), всю поверхность хориона до образования котиледонов, замечено не было. Ареолы и зачатки ворсинок котиледонов образованы выступами эктодермы и соматоплевры хориона, отличающимися внешне друг от друга лишь формой и местами образования. Ворсинки котиледонов формируются против карункулов, закономерно расположенных на поверхности матки. Ареолы находятся между котиледонами против устий маточных желез. Межареолярный хорион не имеет никаких специализированных образований, его поверхность гладкая. Ареолы поднимаются над поверхностью хориона в виде округлых возвышений. Их центральная область углублена, поэтому на поперечных срезах хориона разрез ареолы имеет вид двух валов, разделенных желобом. Валы, состоящие из соматоплевры и эктодермы хориона, поднимаются над поверхностью окружающего хориона, а дно желоба находится на уровне этого хориона (рис. 1). Эпителий хориона межареолярных областей однослоен и состоит большей частью из округлых клеток трофобластического типа. Эпителий ареол отличается от соседних областей образованием в нем кубических и цилиндрических клеток. В эпителии ареол и межареолярных областей много гигантских клеток. Соматоплевра хориона приобретает мезенхимное строение.

На 37 сутки беременности ареолы образованы почти по всей поверхности хориона и на тотальных препаратах видны более отчетливо, чем прежде (рис. 2). Они несколько увеличились в размерах, однако измеряются еще долями миллиметра. В мезенхиме хориона проходят кровеносные сосуды, концевые разветвления которых подходят к ареолам. Между ареолами и ворсинками первичных котиледонов в небольшом количестве находятся образования, промежуточные по форме между ворсинками котиледонов и ареолами.

В течение 2 месяца беременности хорион быстро растет в длину и ширину. Это ведет к растягиванию и уплощению ареол. Их мезенхима теперь не выступает над хорионом, а находится почти на уровне мезенхимы остального хориона. В эпителии ареол появляется большое количество цилиндрических клеток, расположенных главным образом по краям ареол, в результате чего каждая ареола приобретает форму плоского «блюдца». Края «блюдца» образованы высокими клетками эпителия, а дно — более низкими.

В течение 3—4-го месяцев беременности диаметр ареол сильно увеличивается. Они по-прежнему имеют блюдцеобразную форму, однако, их края образованы не только эпителием, но и мезенхимой хориона. От дна ареолы в сторону устья маточной железы отходят выросты, различные по форме и размерам. Они также формируются из мезенхимы и эпителия хориона. Эпителий межареолярных областей становится в основном кубическим.

В последующие месяцы беременности ареолы еще больше увеличиваются в размерах. Самые большие из них могут достигать сантиметра в диаметре. Наиболее крупные ареолы находятся около котиледонов, а иногда создается даже впечатление, что они сливаются с краями котиледонов. Выросты, отходящие от дна ареолы, соединяются друг с другом, образуя извитые гребни. С 7 месяца до конца беременности межкотиледонный хорион коровы имеет на срезах складчатый вид, что уже описывалось ([3], [4]). Это по-видимому можно объяснить разрастанием ареол, извитые гребни которых близко подходят друг к другу (рис. 3 и 4, *а*). Капиллярное сплетение хориона на протяжении всей беременности в области ареол гуще, чем в межареолярных областях. Капилляры проходят в поверхностном слое мезенхимы хориона непосредственно под эпителием, однако, межэпителиальных капилляров в пределах ареол я не наблюдала.

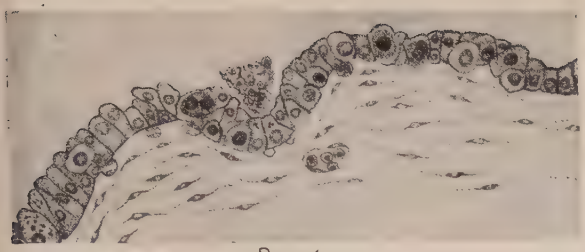


Рис. 1

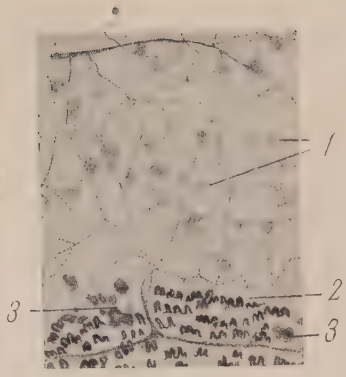


Рис. 2

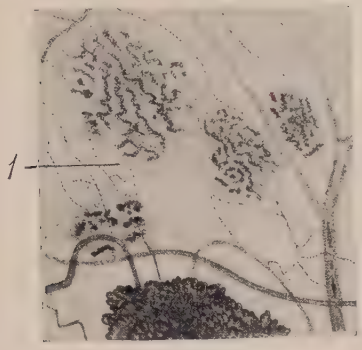


Рис. 3

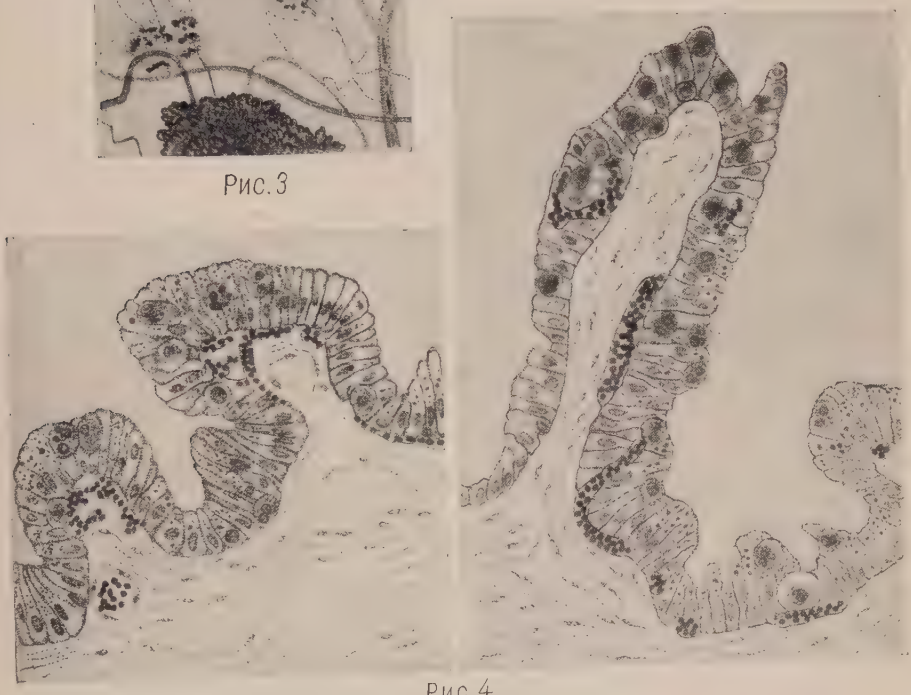


Рис. 4

а *б*

Рис. 1. Сагиттальный разрез ареолы на 37 сутки беременности. Ок. 7, об. 40×(репрод. 1 : 2)

Рис. 2. Участок хориона на 37 сутки беременности. 10×; *1* — ареолы, *2* — ворсинки котиледона, *3* — промежуточные образования

Рис. 3. Участок хориона на 8 месяце беременности. 10 ×; *1*—ареолы

Рис. 4. Сагиттальный разрез ареолярных гребней (*а*) и ворсинки дополнительного котиледона (*б*) на 8 месяце беременности. Ок. 7, об. 40 × (репрод. 1 : 2)

В течение беременности количество гигантских клеток в ареолярном и межареолярном эпителии значительно уменьшается. Однако на вершинах ареолярных гребней они присутствуют до конца беременности. Начиная с 3 месяца беременности эпителий ареол представлен главным образом высокими цилиндрическими клетками с крупными овальными ядрами. Эти клетки имеют протоплазматические отростки, захватывающие эмбриотроф, всегда находящийся между гребнями ареол. С 3 месяца беременности в межплацентомных областях появляются экстравазаты материнской крови, которые также фагоцитируются клетками ареолярного эпителия. Фагоцитированные вещества окружаются вакуолями и перевариваются. Переваривание эритроцитов в начале процесса можно установить по появлению гемоглобина в клетках ареол, а в конце — по накоплению характерного коричневого пигмента.

Клетки ареолярного эпителия принимают большое участие в обмене углеводов, образуя гликоген из фагоцитированных веществ. В первой половине беременности его образуется немного. Это главным образом диффузный гликоген, расположенный в дистальной части клеток. С пятого месяца беременности количество образующегося гликогена резко увеличивается. На 6—7 месяцах беременности гликоген заполняет всю свободную от вакуолей протоплазму эпителиальных клеток. В дистальной части клеток он распылен в виде мелких частиц. К основанию клеток частицы укрупняются. На 8—9 месяцах беременности количество гликогена в эпителии ареол уменьшается. Если в первой половине беременности гигантские клетки ареолярного эпителия содержат некоторое количество гликогена, то во второй половине они абсолютно лишены его.

Дополнительные котиледоны были обнаружены мною впервые на 3 месяце беременности. Однако в различных плодных пузырях время их появления, а также размер и количество в значительной степени определяются развитием основных котиледонов. В тех случаях, когда основные котиледоны мелкие и их меньше, чем в других плодных пузырях такого же возраста, дополнительные котиледоны образуются раньше и в большем количестве. Первые дополнительные котиледоны образуются обычно в месте перехода одного рога плодного пузыря в другой и на концах этого пузыря, т. е. там, где главные котиледоны всегда хуже развиты.

Вновь образующиеся дополнительные котиледоны обычно очень мелки — 2—3 мм в диаметре. В дальнейшем их диаметр может варьировать, но при обычных условиях не превышает 1—2 см. Ворсинки дополнительных котиледонов значительно короче и ветвятся гораздо меньше, чем ворсинки основных котиледонов.

На 7—8 месяцах беременности ареолы и вновь образующиеся котиледоны очень сходны по внешнему виду и на поперечных срезах. Ворсинки дополнительных котиледонов лишь несколько длиннее ареолярных гребней и в их эпителий внедряются капилляры из подлежащей мезенхимы, чего никогда не наблюдалось в ареолах (рис. 4, *а* и *б*). Между ворсинками дополнительных котиледонов и гребнями ареол находятся образования, промежуточные по форме.

На стенке матки соответственно дополнительным котиледонам образуются дополнительные карункулы. Вполне вероятно, что дополнительные котиледоны появляются раньше, чем дополнительные карункулы, так как иногда котиледоны довольно хорошо развиты, а соответствующих им карункулов обнаружить не удавалось. Дополнительные котиледоны, соединяясь с дополнительными карункулами, образуют плацентомы. Если в главных плацентомах каждый карункул охватывается котиледоном, то в дополнительных плацентомах очень часто котиледон охватывается карункулом, как это обычно происходит в плацентомах овец.

Способ формирования первых котиледонов и ареол, наличие на протяжении всей беременности образований, промежуточных по форме между ареолами и ворсинками котиледонов, а также сходство строения ворсинок

дополнительных котиледонов с гребнями ареол — все это наводит на мысль о возможности образования дополнительных котиледонов из ареол.

Институт морфологии животных
им. А. Н. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
26 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] A. Andresen, Morph. Jahrb., **57**, H. 3 (1927). [2] N. Assheton, Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., ser. B, **198** (1906). [3] N. Björkman, Acta Anat., suppl. **22** (1954). [4] I. Hammond, The Physiology of Reproduction in the Cow, 1927. [5] J. Jenkinson, Proc. Zool. Soc., **73** (1906). [6] R. Kolster, Anat. Heite, **20**, 231 (1903). [7] П. Г. Петской, Тр. Инст. морфол. животн. АН СССР, им. А. Н. Северцова, в. 14 (1955). [8] A. Robinson, J. Anat. and Physiol., **38**, 325 (1904). [9] H. Rörik, A. Guillebeau, Anat. Anz., **32** (1908). [10] Б. Ромейс, Микроскопическая техника, 1953. [11] W. Wimsatt, Am. J. Anat., **87**, № 3 (1950). [12] O. Zietzschmann, Lehrbuch der Entwicklungsgeschichte der Haustiere, 1924. [13] А. Л. Шабадаш, Гистохимия гликогена нормальной нервной системы, 1949.

Доклады Академии наук СССР
1957. Том 113, № 1

ЭМБРИОЛОГИЯ

Н. Н. РОТТ

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РОСТА КУРИНОГО ЗАРОДЫША ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ИНКУБАЦИИ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 4 IX 1956)

В работе (1) было показано, что при разных постоянных температурах инкубации относительный вес органов куриного зародыша (сердца и глаз) различен. В частности, относительный вес сердца (сердечный индекс) в первую половину эмбрионального периода приблизительно одинаков при разных температурах инкубации (36,5; 37,5 и 38,5°), но после 10 дня он больше при пониженной, меньше при повышенной температуре.

Целью настоящей работы было дальнейшее изучение роста всего тела и сердца куриного зародыша при различных температурах инкубации для выяснения механизма специфического влияния температуры на рост сердца.

Одним из основных положений, характеризующих влияние температуры на жизненные процессы, является положение об ускорении последних при повышении температуры и замедлении при ее понижении. В литературе, посвященной температурному режиму инкубации, неоднократно отмечалось, что при повышении температуры зародыши данного возраста оказываются более продвинувшимися вперед в своем росте и развитии, чем при пониженной температуре. Однако в ряде работ имеются указания на то, что при повышенной температуре инкубации во вторую половину эмбрионального периода происходит компенсаторное замедление роста и, наоборот, при пониженной температуре — ускорение роста (2, 3). Подробно этот вопрос исследовали Гендерсон и Броди (4) и Гендерсон (5). Они показали, что величина удельной скорости роста (т. е. изменение натурального логарифма веса за единицу времени) в первую половину эмбрионального периода тем больше, чем выше температура инкубации. Однако после стадии, соответствующей 13 суткам при нормальной температуре инкубации, скорость роста равна при всех температурах, и соответственно температурный коэффициент Q_{10} для процессов роста равен нулю. Авторы считают, что это нарушение закона ускорения биологических процессов при повышении температуры свидетельствует о развитии терморегуляции.

С целью проверки данных, полученных Гендерсоном и Броди, были поставлены опыты по инкубации куриных яиц при разных постоянных температурах (36,5° — пониженная, 37,5° — нормальная и 38,5° — повышенная). Методика инкубации и взвешивания описана в предыдущем сообщении (1). Скорость роста определялась по формуле $C_v = \frac{\lg p_2 - \lg p_1}{0{,}4343\,(t_2 - t_1)}$, где C_v — скорость роста, p_1 — начальный вес, p_2 — конечный вес, $t_2 - t_1$ — прошедшее время. Эта формула применялась и в работах Гендерсона и Броди. Полученные величины приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, скорость роста уменьшается с возрастом зародыша. Но в отдельные периоды величина скорости роста остается более или менее постоянной. Таких периодов можно отметить три: 1) от 5—6 до 7—8 суток (при повышенной температуре — до 6—7 суток); 2) от 7—8 (при 38,5° — от 6—7) до 13—16 суток (при 38,5° — до 10—13 суток); 3) от 13—16 суток (при 38,5° — от 10—13) до 19—21 суток.

Таблица 1

Возраст зародыша, сутки	36,5°		37,5°		38,5°	
	Вес, г	C_v	Вес, г	C_v	Вес, г	C_v
5	0,053 (5)		0,056 (6)		0,082 (5)	
		0,9044		1,1676		0,8787
6	0,134 (8)		0,180 (5)		0,202 (6)	
		0,7117		0,7935		1,1372
7	0,273 (4)		0,398 (5)		0,630 (4)	
		0,7591		0,6376		0,2961
8	0,570 (5)		0,753 (5)		0,847 (6)	
		0,4112		0,2346		0,3810
9	0,860 (5)		0,952 (5)		1,240 (5)	
		0,3332		0,4444		0,4867
10	1,200 (5)		1,485 (6)		1,970 (4)	
		0,4747		0,4957		0,5049
13	4,986 (4)		6,566 (9)		8,964 (6)	
		0,3495		0,2901		0,2309
16	14,290 (5)		15,673 (9)		17,916 (5)	
		0,1524		0,1761		0,1543
19	22,750 (7)		26,594 (5)		28,480 (6)	
		0,2889		0,2051		0,1375
21	40,250 (32)		40,100 (46)		37,500 (14)	

Примечание. В таблицах приведены средние величины (в скобках указано число зародышей).

Для этих периодов вычислена средняя величина скорости роста при разных температурах, приведенная в табл. 2. Эти данные показывают, что в начале эмбрионального периода (1 период) скорость роста тем больше, чем выше температура. Во 2 период она почти одинакова при всех температурах, а в 3 — тем больше, чем ниже температура.

Таблица 2

Период	36,5°	37,5°	38,5°
1	0,7917	0,8662	1,0079
2	0,3921	0,4101	0,4172
3	0,2206	0,1906	0,1742

Таким образом, отмечавшийся в литературе больший вес тела у зародышей, развивающихся при повышенной температуре, по сравнению с зародышами, развивающимися при нормальной и особенно пониженной температуре, создается за счет разницы в скоростях роста в первую половину эмбрионального периода. Во вторую половину эмбрионального периода соотношение скоростей роста таково, что оно направлено на уничтожение этой разницы.

В свете этих данных становятся понятными и данные по изменению сердечного индекса при разных постоянных температурах инкубации ([1]). Уменьшение величины сердечного индекса во вторую половину эмбрионального периода при повышенной температуре инкубации вызвано тем же уменьшением скорости роста, которое наблюдается и для всего тела. Таким образом, общий характер зависимости темпов роста от температуры в разные периоды эмбрионального развития одинаков для всего тела и для сердца, но, по-видимому, сердце в процессе роста более чувствительно к изменению температуры, чем другие органы, вследствие чего общая для всего тела реакция — увеличение скорости роста при пониженной температуре инкубации во второй половине эмбрионального периода и, наоборот, уменьшение — при повышенной,— выражена у сердца сильнее, чем у других органов, что и приводит к изменению величины сердечного индекса.

Изменение величины сердечного индекса показывает, что сохранение исторически сложившихся соотношений размеров органов возможно лишь при определенных условиях развития. При изменении этих условий отношения изменяются.

Если, уменьшение скорости роста куриного зародыша при повышенной температуре инкубации во вторую половину эмбрионального периода и увеличение ее при пониженной являются правилом, то следует ожидать, что при повышении температуры инкубации во второй половине эмбрионального периода скорость роста уменьшится, а при понижении — увеличится. Действительно, это показано для роста тела при изменении инкубационной температуры после 16 дней (2).

Для проверки влияния изменения температуры на рост сердца был поставлен следующий опыт. Яйца, инкубировавшиеся при температуре 38,5° (в инкубаторе КЭМ-20) на 13 день были перенесены в инкубатор Рекорд-39 с температурой 37,5°. У зародышей 16 и 19 суток и у только что вылупившихся цыплят определялись вес тела и сердца. Полученные данные приведены в табл. 3. Для сравнения здесь же приведена величина сердечного индекса зародышей, постоянно инкубировавшихся при 38,5 и 37,5°.

Как видно из табл. 3, по всем показателям (вес тела, сердца, сердечный индекс) 16-суточные зародыши данной опытной группы ближе всего к зародышам, постоянно инкубировавшимся при 38,5° (см. также табл. 1). Однако уже на 19 день, хотя по весу тела они по-прежнему ближе всего к зародышам повышенно-температурной группы, по величине сердечного индекса они приближаются к зародышам, инкубировавшимся постоянно при нормальной температуре (37,5°).

Таблица 3

Возраст, сутки	Вес тела, г	Вес сердца, г	Сердечный индекс, ‰		
			инкубация при смене 37,5° на 38,5°	постоянная инкубация при 38,5°	постоянная инкубация при 37,5°
16(6)	18,050	0,149	8,3	8,3	9,7
19(6)	29,230	0,195	6,8	4,6	6,9
21(9)	41,100	0,304	7,4	7,3	7,4

Полученные данные подтверждают выводы Романова и Фейбра (2) об ускорении роста при понижении температуры в конце эмбрионального периода. Как видно из табл. 3, вылупившиеся цыплята весят даже несколько больше, чем развивавшиеся постоянно при 37,5°. В то же время эти данные подтверждают выводы о том, что понижение температуры инкубации во вторую половину эмбрионального периода ускоряет рост сердца сильнее, чем рост всего тела: на 19 сутки, когда по весу тела зародыши данной опытной группы были близки к зародышам, постоянно инкубировавшимся при 38,5°, т. е. больше нормально-температурных, по сердечному индексу они приближаются к последним. Таким образом, рост сердца идет очень быстрым темпом.

Полученные данные дают дополнительный материал для решения вопроса о причинах резкого повышения смертности в последний период эмбрионального развития при повышенной температуре инкубации (1, 6) и о причинах снижения смертности при понижении температуры инкубации в конце эмбрионального периода. В предыдущем сообщении (1) было высказано предположение, что одной из причин этого повышения смертности может быть значительное уменьшение размеров сердца при повышенной температуре инкубации. В последнем опыте число погибших перед вылуплением зародышей составило 7% от общего числа зародышей на 19 сутки, т. е. приблизительно столько же, сколько у зародышей, постоянно инкубировавшихся при нормальной температуре (6,24%). В то же время у зародышей, постоянно инкубирующихся при повышенной температуре, смертность перед вылуплением составляет 56,25%. Снижение смертности при понижении температуры в конце эмбрионального периода отмечается в литературе, и этот прием рекомендуется применять в практике искусственной инкубации (2). В данной работе показано, что этот прием ведет к регулированию величины сердечного индекса, и, вероятно, именно в этом — одна из при-

чин его благоприятного влияния на выживание зародышей в момент вылупления.

Подводя итоги, необходимо отметить, что общим правилом для роста как всего тела, так и сердца куриного зародыша является уменьшение скорости роста во вторую половину эмбрионального периода при повышенной температуре инкубации и увеличение — при пониженной по сравнению с нормой. Специфичность действия внешних факторов на развитие отдельных органов проявляется в данном случае в том, что рост сердца более чувствителен к действию температуры, чем другие органы. Это приводит к различию в величине сердечного индекса при разных температурах инкубации во вторую половину эмбрионального периода. С другой стороны, проявляется специфический характер воздействия внешних факторов в зависимости от стадии развития: в первую половину эмбрионального периода повышение температуры ускоряет рост, во вторую замедляет. Таким образом, во вторую половину эмбрионального периода зародыш перестает подчиняться закону ускорения жизненных процессов при повышении температуры, что можно рассматривать как проявление развития регулярных приспособительных механизмов.

Институт морфологии животных
им. А. И. Северцова
Академии наук СССР

Поступило
4 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Н. Ротт, ДАН, **112**, № 3 (1957). [2] A. L. Romanoff, H. A. Faber, J. Cell. and Comp. Physiol., **2** (1932). [3] И. Я. Прицкер, ДАН, **24**, № 8 (1939). [4] E. W. Henderson, S. Brody, Mo. Agr. Exp. St. Res. Bull., **99** (1927). [5] E. W. Henderson, Mo. Agr. Exp. St. Res. Bull., **149** (1930). [6] T. C. Byerly, Poultry Sci., **17**, № 3 (1938). [7] F. E. Lehmann, Einführung in die Physiologische Embryologie, 1945.